

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

**Statická analýza nosné železobetonové konstrukce objektu pro
administrativní využití**
**Static analysis of the reinforced concrete structure of the building
for administrative use**

Student:

Bc. Kateřina Slaninová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marie Kozielová, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kateřina Slaninová**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: Statická analýza nosné železobetonové konstrukce objektu pro
administrativní využití
Static analysis of the reinforced concrete structure of the building for
administrative use

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je návrh vícepodlažního objektu určeného pro administrativní popř. i jiné účely.
Součástí návrhu je provedení:

1. konstrukčního a dispozičního řešení jednotlivých podlaží objektu
2. návrh rozměrů hlavního nosného železobetonového systému
3. statické posouzení nosných železobetonových prvků a konstrukcí
4. vyhotovení výkresové dokumentace vyztužení jednotlivých posouzených železobetonových prvků

Seznam doporučené odborné literatury:

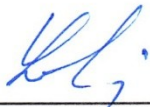
- ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí - Obecná zatížení – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov, ČSNI 03/2004
- ČSN EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí - Obecná zatížení – Část 1-3: Zatížení sněhem, ČSNI 03/2005
- ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí - Obecná zatížení – Část 1-4: Zatížení větrem, ČSNI 2005
- ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí - Obecně – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní a inženýrské stavby, ČSNI 2006
- ČSN EN ISO 3766: Výkresy stavebních konstrukcí – Kreslení výztuže do betonu, ČSNI 2004
- ČSN 01 3481: Výkresy betonových konstrukcí, ČSNI 1987
- Procházka, J.; Krátký, J.: Navrhování betonových konstrukcí podle Eurocode 2. ČVUT, Praha 1995
- Procházka, J.; Krátký, J. a spol.: Betonové konstrukce – Příklady navrhování podle Eurocode 2. ČVUT, Praha 2003
- Bažant, Z.; Šmírák, S.: Betonové konstrukce III – Konstrukce plošné, nádrže a zásobníky. Brno 2002

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marie Kozielová, Ph.D.**

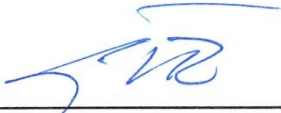
Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Anotace

SLANINOVÁ, K. *Statická analýza nosné železobetonové konstrukce objektu pro administrativní využití: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 2018, 157 s., Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marie Kozielová, Ph.D.

Předmětem diplomové práce je zpracování konstrukčního a statického řešení monolitického železobetonového objektu, jež bude sloužit především pro administrativní účely. Většinu této práce tvoří statické posouzení vybraných konstrukčních prvků na vypočítané vnitřní síly. V příloze je možno nalézt výkresovou dokumentaci, která obsahuje výkresy půdorysů jednotlivých podlaží, řezy a výkresy vyztužení vybraných prvků.

Klíčová slova

Železobeton, administrativní budova, skelet, návrh a posouzení konstrukce, deska, sloup, průvlak, stěna, jádro.

Annotation

SLANINOVÁ, K. *Static analysis of the reinforced concrete structure of the building for administrative use: Diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Construction, 157 pages, 2018, Diploma thesis supervisor: Ing. Marie Kozielová, Ph.D.

The content of diploma thesis is a structural and static solution of a monolithic reinforced concrete building that will be used mainly for administrative purpose. The major part of the work consists of a static analysis of the selected structural elements. In the annex can be found drawing documentation which contains drawings of floor plans and cross sections and drawings of reinforcement of the selected elements.

Key words

Reinforced concrete, administrative building, frame construction, design and assessment of construction, slab, column, beam, wall, core .

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi byli oporou a inspirací nejen při tvorbě této práce, ale i během celého mého studia.

Velký dík patří především paní Ing. Marii Kozielové, Ph.D. za její odborné vedení, vlídný přístup a trpělivost, kterou při našich konzultacích projevila. Vážím si toho, že byla vždy ochotná věnovat mi svůj čas a snažila se mi odpovědět na všechny mé dotazy.

Při tvorbě výpočetního modelu mi velmi pomohly připomínky od pana Ing. Davida Mikoláška, Ph.D., díky kterému jsem si rozšířila své znalosti a schopnosti modelovat v programu SCIA Engineer.

Nemohu opomenout ani pana Ing. Vladimíra Vrátu, jehož odborné rady a postřehy založené na zkušenostech z praxe pro mě byly mimořádně cenné. Myslím, že jeho náhled na řešenou problematiku jako člověka z praxe, mi pomohl nejenom při řešení této práce, ale vnímám ho také jako veliký přínos pro svou budoucí práci v oboru.

Nakonec bych chtěla vyjádřit vděčnost své rodině a přátelům za podporu a povzbuzení.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Popis objektu.....	6
2.1	Účel a dispoziční řešení	6
2.2	Architektonické řešení	7
2.3	Konstrukční řešení	8
2.3.1	Základová konstrukce	8
2.3.2	Nosné konstrukce.....	8
2.3.3	Nenosné konstrukce	8
3	Konstrukce vícepodlažních budov	10
3.1	Historický vývoj.....	10
3.2	Statické působení nosných prvků.....	11
3.3	Druhy a charakteristiky konstrukčních systémů	12
3.3.1	Skeletový (sloupový) systém	12
3.3.2	Stěnový systém	17
3.3.3	Kombinovaný systém.....	17
3.3.4	Superkonstrukce.....	19
4	Zatížení.....	20
4.1	Zatížení stálé	20
4.1.1	Nosné konstrukce.....	20
4.1.2	Skladba vodorovných konstrukcí.....	20
4.1.3	Skladba svislých konstrukcí.....	23
4.2	Zatížení proměnné	26
4.2.1	Zatížení užité.....	26
4.2.2	Zatížení klimatické.....	27
5	Výpočetní model konstrukce.....	43

5.1	Kombinace zatížení.....	44
5.1.1	Zatěžovací stavy.....	44
5.2	Vnitřní síly	46
5.2.1	Stropní a střešní desky	46
5.2.2	Průvlaky	50
5.2.3	Sloupy	56
5.2.4	Ztužující jádro	62
5.2.5	Schodiště	65
6	Posouzení nosných prvků.....	68
6.1	Deska D1, D2, D3	69
6.1.1	Mezní stav únosnosti.....	69
6.1.2	Mezní stav použitelnosti	79
6.2	Deska D4.....	82
6.2.1	Mezní stav únosnosti.....	82
6.2.2	Mezní stav použitelnosti	84
6.3	Průvlak P1, P2 (skupina č. 1).....	85
6.3.1	Mezní stav únosnosti.....	85
6.3.2	Mezní stav použitelnosti	94
6.4	Průvlak P3, P4 (skupina č. 2).....	96
6.4.1	Mezní stav únosnosti.....	96
6.4.2	Mezní stav použitelnosti	99
6.5	Průvlak P5 - P12 (skupina č. 3)	100
6.5.1	Mezní stav únosnosti.....	100
6.5.2	Mezní stav použitelnosti	102
6.6	Sloup S4 (skupina č. 1)	104
6.6.1	Mezní stav únosnosti.....	104
6.7	Sloupy S3, S5 (skupina č. 2).....	118

6.7.1	Mezní stav únosnosti.....	118
6.8	Sloupy S1, S7, S10 (skupina č. 3).....	121
6.8.1	Mezní stav únosnosti.....	121
6.9	Sloupy S2, S6, S8, S9, S11, S12 (skupina č. 4).....	123
6.9.1	Mezní stav únosnosti.....	123
6.10	Ztužující jádro	125
6.10.1	Mezní stav únosnosti.....	125
6.11	Schodiště - ramena a mezipodesty	134
6.11.1	Mezní stav únosnosti.....	134
6.11.2	Mezní stav použitelnosti	139
6.12	Schodiště - podesta	141
6.12.1	Mezní stav únosnosti.....	141
6.12.2	Mezní stav použitelnosti	146
7	Závěr	149
8	Seznam použitých zdrojů	150
9	Seznam příloh.....	151
9.1	Výkresy	151
9.2	CD	151
10	Seznam obrázků a tabulek.....	152
10.1	Seznam obrázků	152
10.2	Seznam tabulek	155

Seznam použitého značení

A	–	průřezová plocha prvku
A_c	–	průřezová plocha betonu
A_s	–	průřezová plocha betonářské výztuže
A_{sw}	–	průřezová plocha smykové výztuže
ČSN	–	Česká technická norma
M	–	ohybový moment
M_{Ed}	–	návrhová hodnota působícího vnitřního ohybového momentu
MPa	–	megapascal
N	–	normálová síla
N_{Ed}	–	návrhová hodnota působící normálové síly
NP	–	nadzemní podlaží
V	–	posouvající síla
V_{Ed}	–	návrhová hodnota působící posouvající síly
b	–	šířka průřezu
č.	–	číslo
d	–	účinná výška průřezu
\emptyset	–	průměr výztuže
g_k	–	charakteristická hodnota zatížení
g_d	–	návrhová hodnota zatížení
kN	–	kilonewton
kNm	–	kilonewton metr
kN/m^2	–	kilonewton na metr čtvereční
kN/m^3	–	kilonewton na metr krychlový
m	–	metr
m^2	–	metr čtvereční
max.	–	maximální
min.	–	minimální
mm	–	milimetr
š.	–	šířka
$t, tl.$	–	tloušťka
γ_c	–	dílčí součinitel betonu
γ_g	–	dílčí součinitel stálého zatížení

γ_q	–	dílčí součinitel proměnného zatížení
γ_s	–	dílčí součinitel betonářské oceli
ρ	–	objemová hmotnost
σ_c	–	tlakové napětí v betonu
σ_s	–	tahové napětí ve výztuži

Seznam použitých grafických a výpočetních programů

AutoCAD Architecture 2016

Graphisoft ArchiCAD 19

Scia Engineer 18.1

Microsoft Office Word 2007

Microsoft Office Excel 2007

SketchUp 2015

Adobe Photoshop CC 2014

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

**Statická analýza nosné železobetonové konstrukce objektu pro
administrativní využití**
**Static analysis of the reinforced concrete structure of the building
for administrative use**

Textová část

Student:

Bc. Kateřina Slaninová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marie Kozielová, Ph.D.

Ostrava 2018

1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je vhodně navrhnout objekt pro administrativní využití, jehož nosná konstrukce je tvořena železobetonovým monolitickým skeletem. V rámci práce se vypočítalo působící zatížení a jeho účinky na konstrukci. Poté se na tyto účinky zatížení navrhly a posoudily vybrané nosné prvky konstrukce (deska, průvlak, sloup, jádro a schodiště). Nakonec byla vyhotovena výkresová dokumentace.

Podkladem pro vypracování této diplomové práce byla projektová dokumentace zpracovaná studentem Bc. Markem Výtiskem v rámci jeho bakalářské práce. Nicméně dispozice, rozměry objektu a jeho konstrukční řešení bylo oproti bakalářské práci mírně pozměněno.

Práce je zpracovaná podle rozsahu, jenž je uveden v zadání diplomové práce. Diplomová práce je rozdělena na dvě části: textovou a výkresovou. Textová část obsahuje popis konstrukce, výpočet zatížení a statické posouzení nosných prvků a konstrukcí. Výkresová část obsahuje půdorysy podlaží, řez a výkresovou dokumentaci vyztužení jednotlivých posuzovaných železobetonových prvků.

2 POPIS OBJEKTU

2.1 ÚČEL A DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ

Tato nepodsklepená třípodlažní budova je určena primárně pro administrativní využití. Kancelářské prostory jsou doplněny menší kavárnou, která má potenciál zpříjemnit a zatraktivnit nové pracovní prostory a okolí objektu. Celková zastavěná plocha objektu činí 247,5 m².

V prvním podlaží se nachází kavárna a vstupní hala pro kancelářské prostory. Kavárna zabírá přibližně dvě třetiny plochy prvního nadzemního podlaží a její navrhovaná kapacita je 20 osob. Počítá se s tím, že zde budou pracovat 2 zaměstnanci, kteří mají oddělený vstup ze severozápadní strany a vlastní zázemí, čímž je zajištěný oddělený provoz zaměstnanců a zákazníků. Zákazníci mají umožněný vstup do kavárny z krytého podchodu na severovýchodní straně. Ve vstupní hale, do které se vstupuje také ze severovýchodní strany, se nachází recepce. Z recepce je možný přístup na schodiště a k výtahu, který je umístěn v železobetonovém jádru.

Další dvě podlaží jsou určena pro kancelářské prostory. Při návrhu dispozice byl kladen důraz na jednoduchost, pravidelnost a především flexibilitu. Díky zvolenému konstrukčnímu systému (skeletu) jsou dispozice volné, otevřené (open space kanceláře) a velmi variabilní. Budoucí uživatel bude moci tento prostor zachovat, nebo si ho upravit podle toho, co zrovna v danou chvíli bude potřebovat. Navrhovaná kapacita jednoho podlaží je 22 osob.

Střecha je navržena jako pochůzí. Tento přidaný prostor je možno využít jako odpočinkové místo pro zaměstnance.

Stavba je navržena tak, aby splňovala požadavky vyhlášky č. 398/2009 Sb. o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. Všechny komunikační prostory jsou bezbariérové, pro vertikální pohyb slouží bezbariérový výtah a schodiště.

2.2 ARCHITEKTONICKÉ ŘEŠENÍ

Architektonické řešení objektu je čisté a jednoduché. Jedná se o budovu ve tvaru krychle, jejíž pravidelnost narušuje pouze "vykousnutí" jedné třetiny objemu prvního podlaží, které funguje jako průchod a zároveň jako závětrí před vstupem do budovy. Aby byla forma v rovnováze, byla odebraná hmota nahrazena vystupujícím kvádrem umístěným na horní ploše, ve kterém je schované schodiště umožňující přístup na střechu.

Bílou barvu fasády doplňují na dvou protilehlých stranách objektu pásová okna s tmavým hliníkovým rámem, která se táhnou přes celou šířku budovy. Toto uspořádání oken je možné díky skeletovému systému, který uvolnil průčelí a bylo tudíž možné aplikovat jeden z pěti bodů moderní architektury podle Le Corbusiera [1], který říká, že díky sloupovému systému mohou být dlouhá (pásová) okna vedena mezi nimi. V kontrastu ke dvou stranám, které jsou vertikálně členěné pásovými okny, jsou zbylé dvě strany, které jsou s minimem oken téměř celistvé.

V přízemí jsou na stěnách připevněny tmavé obkladové desky a prostor kavárny i vstupní hala jsou propojeny s exteriérem velkými okny od podlahy až po strop.

2.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

2.3.1 Základová konstrukce

Založení budovy je provedeno na železobetonovém roštu o průřezu 600x1000 mm. Rošt je navíc zalit základovou deskou, jejíž tloušťka činí 200 mm. Součástí základové konstrukce je i základový pás pod schodištěm a základová deska pod výtahovou šachtou. Základová konstrukce není v rámci diplomové práce podrobněji řešena.

2.3.2 Nosné konstrukce

Nosný systém objektu tvoří železobetonový monolitický skelet doplněný o železobetonové jádro, které spolu s deskami zajišťuje prostorové ztužení objektu. Všechny prvky jsou provedeny z betonu třídy C30/37, jejíž charakteristická krychelná pevnost v tlaku je 30 MPa. Jako betonářská výztuž je použita ocel třídy B500B, která má charakteristickou mez kluzu 500 MPa.

Skelet je tvořen sloupy průřezu 400x400 mm a obousměrnými průvlaky průřezu 400x600 mm a 400x1000 mm. Tyto zvětšené průvlaky, které zasahují i do vyššího podlaží, jsou umístěny po obvodě budovy na severovýchodní a jihovýchodní straně z důvodu zvýšení tuhosti konstrukce v místě, kde chybí sloup (východní roh objektu, 1. NP). Výška sloupů je určena konstrukční výškou podlaží, která je u prvního podlaží 4,1 m a u 2. a 3. podlaží 3,52 m. Rozteče sloupů jsou na delší straně 5,2 - 5,7 - 5,2 m a na kratší 4,8 - 5,0 - 4,8 m.

Desky o tloušťce 200 mm, které napomáhají při ztužení rámové konstrukce, působí jako spojitě desky o třech polích pnuté ve dvou směrech mezi průvlaky. Desky jsou od stěn jádra oddílatovány.

Železobetonové ztužující jádro se stěnami tl. 200 mm je situováno ve středu budovy. Uvnitř jádra je umístěno trojramenné pravotočivé schodiště (provedené taktéž z monolitického železobetonu) a výtahová šachta pro výtah typu KONE MonoSpace 500, který nepotřebuje strojovnu díky modernímu pohonnému systému.

2.3.3 Nenosné konstrukce

Nenosné konstrukce objektu jsou provedeny z přesných tvárnic YTONG.

Prostor mezi monolitickým skeletem je po obvodě vyplněn tvárnicemi YTONG P2-500 tloušťky 200 mm, které zajistí výrazné snížení tepelných ztrát.

Dělicí příčky jsou vyzděny z přesných příčkovek YTONG P2-500 především z důvodu jejich nízké hmotnosti a dobré neprůzvučnosti. Většina příček je navržena ve tloušťce 150 mm zejména kvůli relativně velké konstrukční výšce jednotlivých podlaží. Pouze příčky, které oddělují sociální zařízení, jsou navrženy ve tloušťce 100 mm.

Ve všech místnostech jsou provedeny sádkartonové podhledy firmy Knauf, čímž je snížena světlá výška na 2770 mm (kanceláře, místnosti se sociálním zařízením) a na 3250 mm (kavárna, vstupní hala). Ve volném prostoru nad podhledy jsou umístěny rozvody technického vedení a odvětrání toalet.

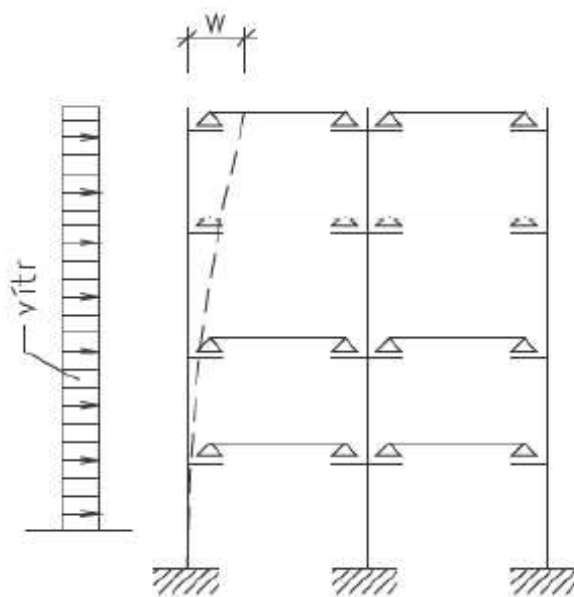
3 KONSTRUKCE VÍCEPDLAŽNÍCH BUDOV

Při navrhování patrových budov je zásadní dobře si promyslet vhodný konstrukční systém, jenž musí nejenom splňovat základní požadavky na stavby (viz [2]), ale zároveň si musí poradit se speciálními úskalími, které mohou nastat u vyšších objektů (například dynamické zatížení větrem, atd.). S rostoucí výškou se zvyšují nároky na konstrukční řešení i provozní podmínky. Objekt řešený v rámci této práce není tak vysoký, aby bylo nutné vzít v úvahu speciální požadavky na výškové budovy.

Pro konstrukční systém vícepodlažních budov je možné použít různé materiály - jako například ocel, dřevo nebo zdivo. Nicméně z důvodu zaměření této diplomové práce (železobetonová konstrukce) se bude tato teoretická část zabývat pouze monolitickým železobetonem jako materiálem pro výstavbu patrových budov.

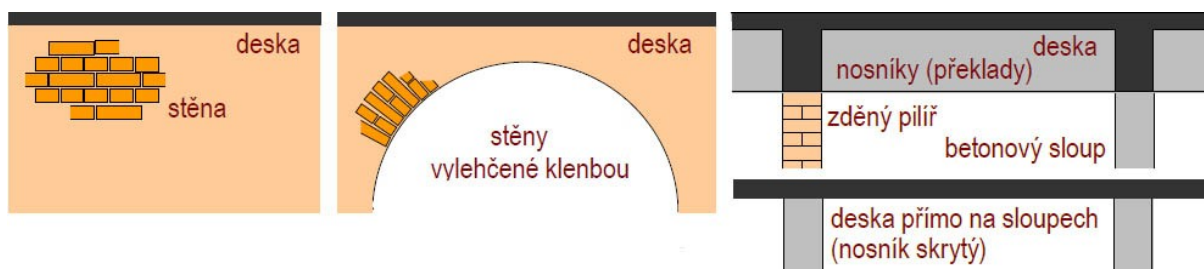
3.1 HISTORICKÝ VÝVOJ

Ještě na začátku 20. století se stavěly objekty s malým počtem podlaží, které využívaly zděný stěnový systém příležitostně kombinovaný s ocelovými sloupy. Podélně orientované stěny byly doplněné cihlovými klenbami nebo dřevěnými stropy, které však při příčném větru nemusely vždy zajišťovat spojitě vodorovné přetvoření mezi stěnami. Tento problém je vidět na *obrázku 3.1*, na kterém je znázorněno statické schéma objektu v případě, kdy jsou dřevěné trámy volně uloženy do stěn.



Obrázek 3.1 - Statické schéma (zděné stěny + dřevěné stropy) [3]

Postupem času byl navíc kladen větší důraz na zvýšení variability a zvětšení užitého prostoru, čehož nebylo se stěnovým systémem možné dosáhnout. Proto se začaly postupně rozvíjet horizontální nosné prvky - klenby a především nosníky.



Obrázek 3.2 - Vývoj horizontálních nosných prvků [7]

V první polovině 20. století, přesněji ve třicátých a čtyřicátých letech, došlo k rozvoji skeletových konstrukcí ze železobetonu, které znamenaly odhmotnění konstrukce a zároveň uspokojily potřebu stavět stále vyšší a vyšší stavby [3].

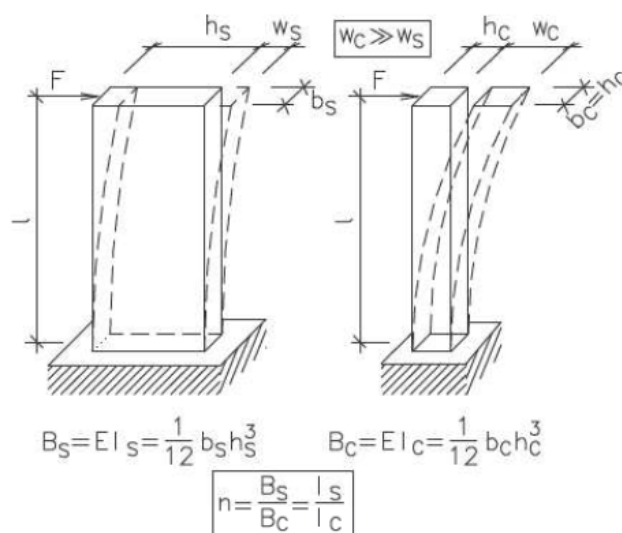
3.2 STATICKÉ PŮSOBENÍ NOSNÝCH PRVKŮ

Jak již bylo zmíněno, u vícepatrových budov jsou závažnější vodorovné účinky zatížení od větru a zemětřesení, čímž se zvyšují požadavky na prostorovou tuhost a stabilitu objektu. Dostatečnou prostorovou tuhost a stabilitu je možné získat použitím ztužujících prvků jako jsou stěny, stropní desky, komunikační jádra nebo obvodový plášť, a také při zajištění spolupůsobení mezi jednotlivými prvky konstrukce.

V konstrukci mají svislé prvky jako stěny nebo sloupy za úkol vzdorovat účinkům vodorovného zatížení, zatímco vodorovné prvky musí zajistit, aby se vodorovné deformace mezi svislými prvky přenášely spojitě.

Stěna má v podélném směru mnohem větší ohybovou tuhost¹ než sloup, z čehož vyplývá, že při stejně velkém zatížení má stěna mnohem menší průhyb - platí zde nepřímá úměra: čím je větší tuhost, tím je menší průhyb prvku (viz *obrázek 3.3*). Pokud je v konstrukci zajištěno spolupůsobení sloupu se stěnou (většinou pomocí tuhé stropní desky), pak při působení vodorovného zatížení, přebere stěna podstatnou část tohoto zatížení [3].

¹ ohybová tuhost B je vyjádřena jako součin momentu setrvačnosti I a modulu pružnosti E



Obrázek 3.3 - Porovnání deformace a ohybové tuhosti stěny a sloupu při působení vodorovného zatížení [3]

3.3 DRUHY A CHARAKTERISTIKY KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ

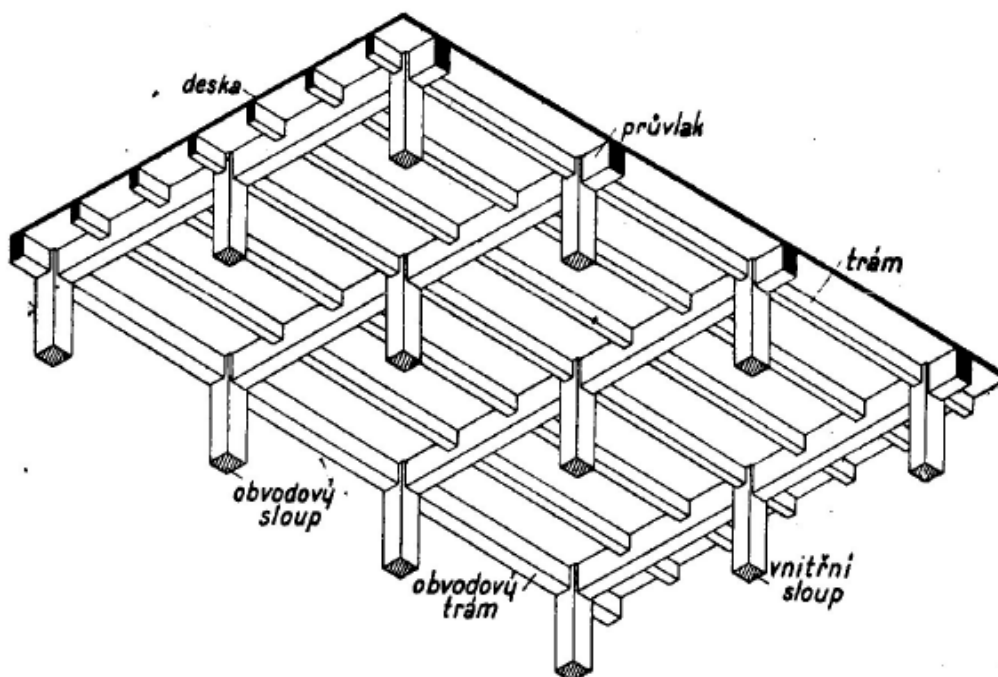
Jelikož je vodorovná tuhost konstrukce zajištěna především svislými nosnými prvky, vychází se při zařazení konstrukčních systémů z jejich charakteristik - tímto způsobem se získají 4 skupiny: stěnové systémy, skeletové (sloupové) systémy, kombinované systémy a zvláštní systémy nazývané superstruktura.

Pokud se konstrukční systémy rozdělí podle uspořádání svislých nosných konstrukcí, rozlišují se systémy podélné, příčné a obousměrné [3], [4].

Poněvadž se v rámci diplomové práce řeší monolitická skeletová konstrukce s obousměrnými průvlaky a ztužujícím jádrem, je tento systém popsán nejpodrobněji.

3.3.1 Skeletový (sloupový) systém

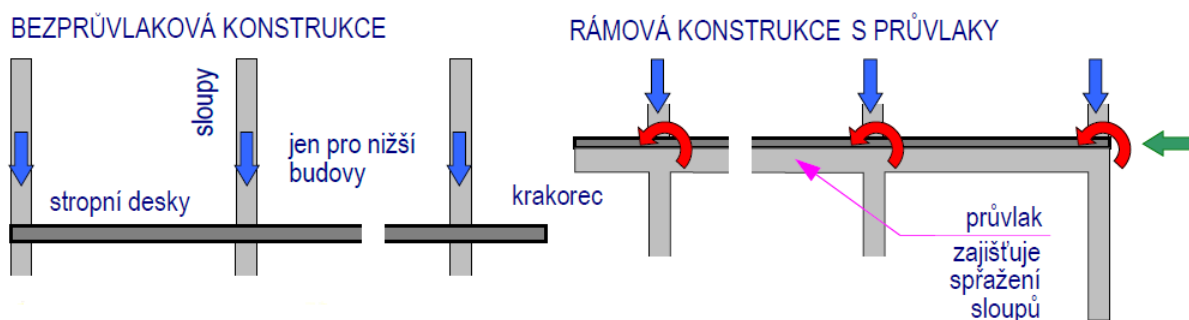
Skeletový systém je tvořen sloupy a nosníky, na které se uloží stropní desky. Veškeré zatížení je přenášeno skeletem a nenosné stěny pouze ohraničují a rozdělují vnitřní prostor. Jedná se o alternativu ke stěnovému systému, oproti kterému má nosná konstrukce menší hmotnost a umožňuje téměř neomezené rozdělení plochy podlaží, které se dá snadno měnit podle potřeby. Ve většině případů se osová vzdálenost mezi sloupy pohybuje v rozmezí 3,6-7,2 m.



Obrázek 3.4 - Prvky skeletového konstrukčního systému [8]

Nevýhodou monolitických skeletů je velká pracnost na stavbě při výrobě bednění, čímž se také prodlužuje doba výstavby. Kromě toho není možné provádět dodatečné změny konstrukce nebo ji jednoduše demontovat, což je požadavek často vyžadovaný u průmyslových staveb. Je také nutné pohlídat si, aby měla konstrukce dostatečnou stabilitu, protože skelet je méně tuhý než stěnový systém [5].

Ve skeletové konstrukci je zcela oddělena nosná funkce svislých nosných prvků od všech ostatních funkcí (např. kroucení, přenos ohybových momentů, atd.). Díky tomu je možné navrhnout relativně subtilní průřez sloupů. Pokud vertikální zatížení působí v těžišti sloupu, je jeho průřez symetrický, ale pokud musí sloup odolávat i ohybovému momentu, je výhodnější použít obdélníkový průřez, jehož delší strana je umístěna ve směru působení většího momentu. Aby se eliminoval účinek ohybového momentu, je rovněž možné sloupy mezi sebou spráhnout stropní deskou nebo průvlakem (lepší varianta) [3], [6].



Obrázek 3.5 - Působící síly v konstrukci [7]

3.3.1.1 Rámový (průvlakový) skelet

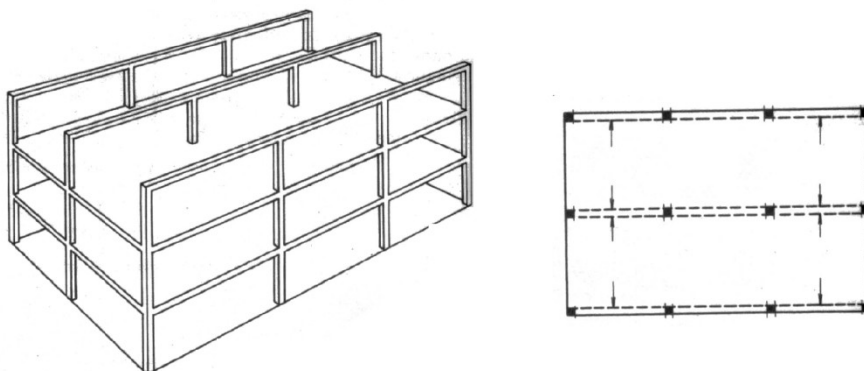
Dva sloupy spojeny průvlakem tvoří dohromady rám, což je základní prvek nosné konstrukce, který zjišťuje stabilitu objektu. Stropní desky jsou podpírány průvlaky, kterými se zatížení přenáší do sloupů. Rámy mohou být orientované podélně příčně nebo obousměrně. Pokud je nutné zvýšit ohybovou tuhost systému, je možné přidat ztužující prvek (stěnu, jádro, apod.), čímž vznikne kombinovaný systém - viz kapitola 3.3.3.

Průvlaky jsou nejvíce namáhané ohybovým momentem, normálové síly jsou většinou zanedbatelně malé, kromě průvlaku v nejvyšším podlaží, kde se normálová síla zvětší. Pokud se svislé zatížení a konstrukční výška všech podlaží od sebe příliš neliší, může se průřez všech průvlaků (kromě střešního) navrhnut stejně.

U sloupů se namáhání v každém podlaží výrazně mění. Především normálová síla se postupně zvětšuje směrem dolů k základům, což zároveň způsobuje zmenšení excentricity², tudíž je možné navrhnut konstantní průřez přes více podlaží [4].

Rámový skelet s podélnými rámy

Rámy jsou orientované rovnoběžně s delší stranou budovy, stropy jsou kolmé k průčelí. Toto uspořádání je výhodné použít u nízkopodlažních budov (2-5 podlaží), kdy výška není o moc větší než šířka objektu, protože systém má malou prostorovou tuhost. Obvykle je nutné zvýšit tuhost objektu příčnými stěnami, průvlaky nebo komunikačními jádry. Velkou výhodou je možnost vedení instalačních rozvodů pod stropy v podélném směru, ale oproti tomu je omezená variabilita fasády [3], [4], [6].

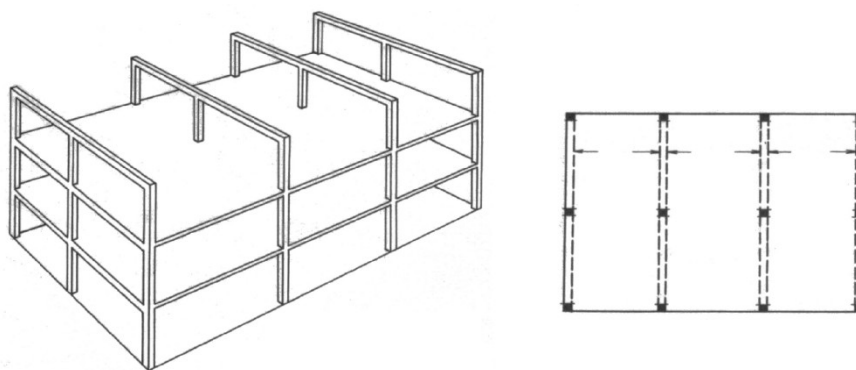


Obrázek 3.6 - Skelet s podélnými trámy [9]

² Excentricita e se vypočítá jako poměr ohybového momentu M ku normálové síle N

Rámový skelet s příčnými rámy

Rámy jsou uspořádané kolmo k delší straně budovy, stropy jsou rovnoběžně s průčelím. Oproti podélným ráům mají větší tuhost a lépe odolávají vodorovnému zatížení, proto je vhodné je použít pro vyšší budovy, jejichž výška je přibližně dvojnásobek šířky. Přestože má tento systém většinou dostatečnou tuhost, je možné ho v případě potřeby (u budov vyšších než 5 podlaží) doplnit podélnými ztužujícími stěnami nebo jádry. Ze statického hlediska je tento systém výhodnější než podélný [3], [4].

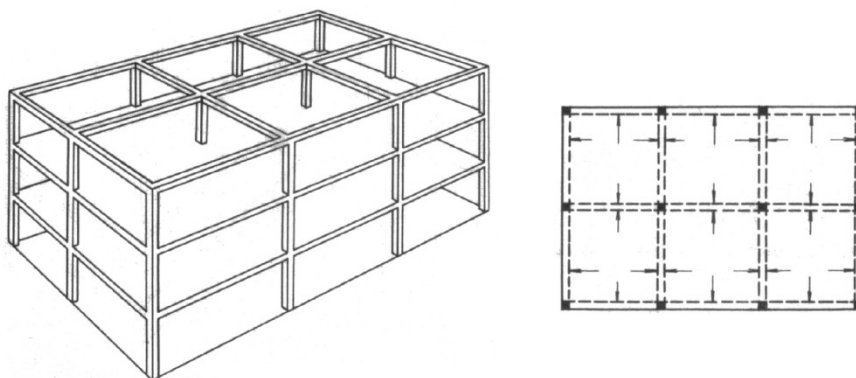


Obrázek 3.7 - Skelet s příčnými rámy [9]

Rámový skelet s obousměrnými rámy

Rámy jsou v příčném i podélném směru a vytváří se tak prostorový rám, který má v obou směrech zhruba stejnou tuhost. Je ze všech tří systémů nejvíce tuhý, tudíž se hodí ho použít pro vysoké budovy. Nicméně stejně jako u příčného systému je nutné u objektů s více než 5-ti patry zvýšit jeho vodorovnou tuhost podélnými a příčnými stěnami nebo jádry [3], [4], [6].

Z hlediska rozvržení sloupů je dobré, aby se sloupový rastr blížil čtverci, protože v takovém případě je statické působení křížem vyztužených desek výhodnější. Osová vzdálenost by neměla přesáhnout 6 m, jelikož by v desce vznikaly nepříjemně velké průhyby [4].

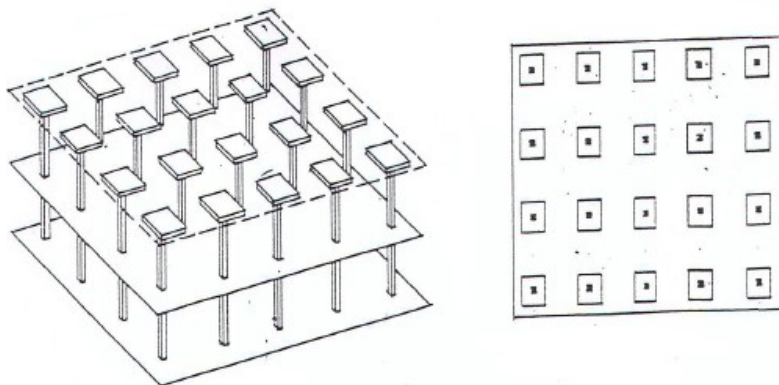


Obrázek 3.8 - Skelet s obousměrnými rámy [9]

3.3.1.2 Hlavicový (hřibový) skelet

Místo průvlaků má tento systém silně vyztužené hlavice, které jsou uloženy na sloupech a zabráňují tak propíchnutí desky. Zatížení ze stropu se do sloupů přenáší skrz tyto hlavice.

Výhodou systému je jeho vysoká únosnost, tudíž je možné ho použít např. pro skladovací objekty, kde se počítá s velkým zatížením. Na druhou stranu se zde obtížně provádí rozvod instalací, které nesmí procházet hlavicemi [4], [6].

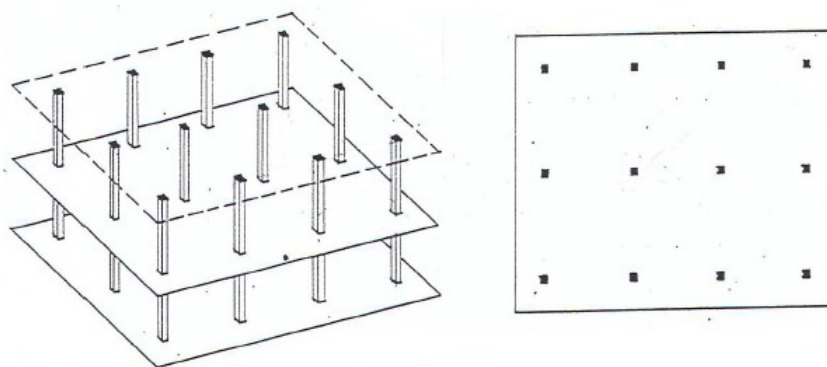


Obrázek 3.9 - Hlavicový skelet [9]

3.3.1.3 Deskový (bezprůvlakový) skelet

U tohoto typu skeletu je deska lokálně podepřena sloupy, do kterých se zatížení ze stropu přenáší přímo. Používá se u objektů s malým proměnným zatížením (např. obytné stavby), neboť hrozí nebezpečí porušení desky propíchnutím v místě styku desky a sloupu.

Výhodou je variabilita půdorysu a rovný podhled, což souvisí i se snadným rozvodem instalací. Nevýhodou je, kromě výše zmíněného, malá tuhost objektu [4], [6].



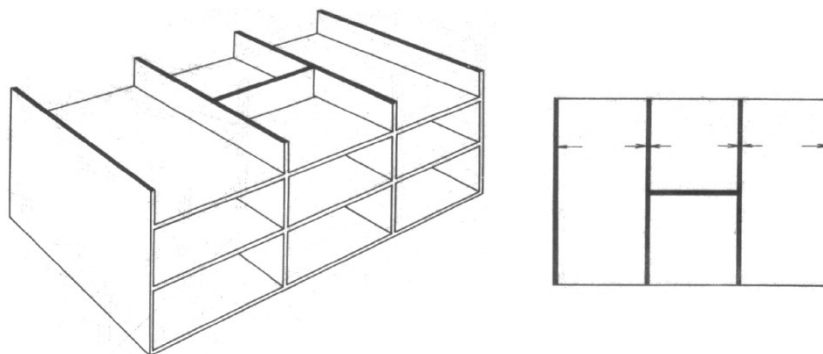
Obrázek 3.10 - Deskový skelet [9]

3.3.2 Stěnový systém

Stěnový systém je tvořen podélnými / příčnými stěnami a stropními deskami. Díky monolitickému provedení jsou tyto konstrukce velmi tuhé a většinou nemají problém zajistit dostatečnou prostorovou tuhost a stabilitu.

Stěny jsou zatížené ve svislém směru vlastní tíhou a reakcemi od stropů a vodorovně větrem. Tloušťka stěny se odvíjí od velikosti svislého zatížení, tloušťka stropní desky závisí na vzdálenosti mezi stěnami a velikosti proměnného zatížení [4].

Stejně jako skeletové rámové systémy je můžeme rozdělit na systém příčný, podélný a obousměrný - většina charakteristik těchto stěnových systémů se neliší od skeletových, rozdíl je pouze v tom, že místo sloupů jsou použity stěny, které zajišťují větší tuhost a proto není nutné dodatečných ztužujících prvků [6].



Obrázek 3.11 - Příčný stěnový systém s podélnou ztužující stěnou [9]

3.3.3 Kombinovaný systém

Jak už název napovídá, tento systém kombinuje více konstrukčních systémů / materiálů / technologií dohromady tak, aby se využilo jejich předností a potlačily se nedostatky. Může se jednat např. o některý předchozí konstrukční systém, který je doplněn ztužujícími prvky (stěna, jádro).

Důraz se klade na důkladné statické posouzení z důvodu např. rozdílného sedání odlišných konstrukčních systémů nebo rozdílného smršťování (problém především při kombinaci monolitických a montovaných konstrukcí) [4].

3.3.3.1 Jádrový systém

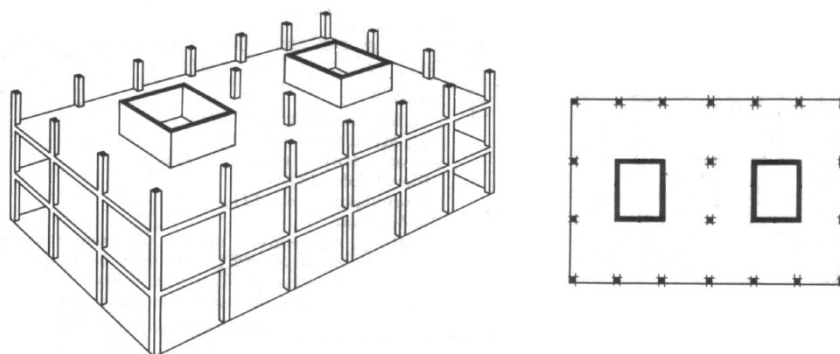
Systém, jehož vodorovná tuhost v obou směrech je zajištěna ztužujícími jádry. Jádro je vytvořeno ze svislých spřažených prvků (stěn), kterými se přenáší účinky zatížení do základové konstrukce. Stěnové jádro má oproti sloupům výrazně vyšší ohybovou tuhost a proto jádro přenesou většinu vodorovného zatížení a sloupy pouze podepírají stropní desky a mají za úkol z nich přenést reakce [6].

Jádro funguje buď jako dodatečný ztužující prvek u systémů, které samy nemají dostatečnou vodorovnou tuhost, nebo jako dominantní ztužující prvek pro systém, jehož vodorovná tuhost je zanedbatelná - např. bezprůvlakový skelet [3], [4].

Tento systém vznikl ze snahy využít v kombinovaných systémech stěny nejen pro jejich statickou funkci, ale zároveň pro oddělení komunikačních a dalších prostorů, které nepotřebují přirozené osvětlení a větrání, od obytných, kancelářských či jiných prostorů v objektu. Tímto způsobem se vytvořilo uzavřené stěnové jádro, do kterého se umístily schodiště, výtahy nebo instalační šachty [6].

Při umístění ztužujícího jádra do půdorysu je vhodné situovat ho tak, aby nebylo namáháno kroucením, popřípadě je nutno zajistit, aby bezpečně odolávalo účinkům kroucení. Proto je nejlepší navrhnout souměrné jádro, které se postaví do těžiště půdorysu. Symetrie je důležitá zejména u konstrukcí s více výztužnými jádry [3], [6], [4].

Pokud je betonové jádro umístěno uvnitř půdorysu, je tento nosný prvek chráněný před vnějším prostředím. Další výhodou systému je, že jsou komunikační prostory uvnitř jádra požárně oddělené od zbytku objektu [3], [6].



Obrázek 3.12 - Skeletový systém se dvěma jádry umístěnými symetricky [9]

Jádrový systém se používá pro výškové budovy, avšak i tento systém má své omezení. Pokud už je tuhost jádra nedostatečná, může být jeho dolní část při kombinaci zatížení namáhána

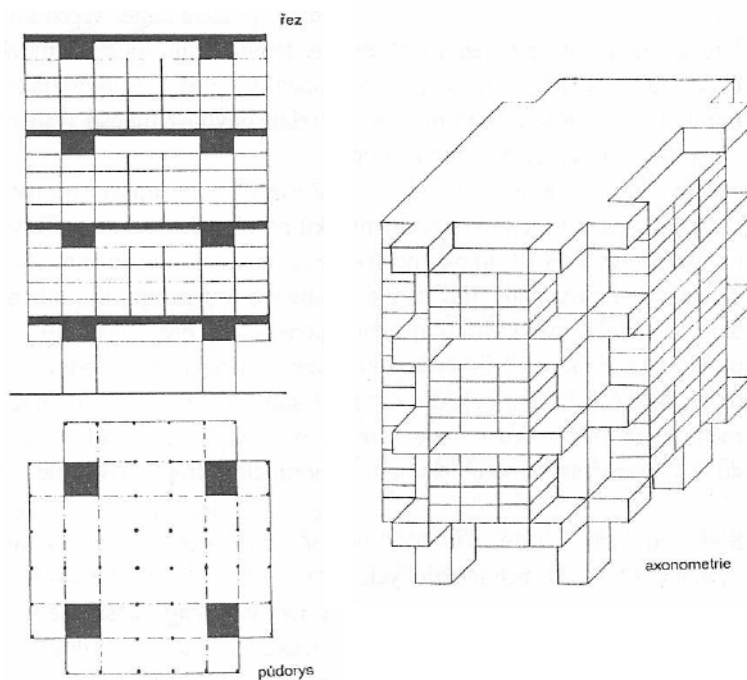
tahem a mohou zde vznikat nežádoucí trhliny. Odstranění problému je možné zvětšením průřezu jádra, čímž se ale zmenší užitná plocha objektu, nebo zvětšením rozpětí stropní konstrukce a tím i zvýšení reakcí desek, které jsou uložené na jádru. Tato opatření nicméně nepomohou snížit horizontální deformace při působení větru a proto je tento konstrukční systém výškově omezen [6].

3.3.4 Superkonstrukce

Pro úplnost výčtu konstrukčních systémů je nutné zmínit i tento relativně nový koncept používaný pro extrémně vysoké budovy (více než 50 podlaží), jehož základní myšlenkou je dvoustupňový konstrukční systém - tj. systém, který se skládá z primární a sekundární konstrukce [3], [4].

Systém je tvořen malý počtem masivních primárních nosných prvků, které přebírají zatížení ze sekundární konstrukce. Sekundární konstrukce je na primární uložena nebo zavěšena [4].

Výhodou systému je, že zatížení je soustředěno do malého počtu svislých podpor, což umožňuje využít plochu pod objektem. Navíc je možné navrhnout větší rozměry oken. Nicméně je problematické vyřešit komplikovaný provoz uvnitř budovy, který zahrnuje vertikální dopravu, zajištění požární bezpečnosti, atd. [3].



Obrázek 3.13 - Příklad dvoustupňového konstrukčního systému [6]

4 ZATÍŽENÍ

4.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Při výpočtu zatížení bylo postupováno podle normy ČSN EN 1991-1-1 [10].

4.1.1 Nosné konstrukce

Vlastní tíha nosných konstrukcí je vypočítána automaticky v programu SCIA Engineer na základě jejich rozměrů ve výpočtovém modelu.

4.1.2 Skladba vodorovných konstrukcí

Zatížení od vodorovných konstrukcí se zadalo do výpočtového modelu jako plošné zatížení působící na deskách.

Plošná hmotnost podhledu je stanovena podle pokynů výrobce podhledu. Podle tloušťky opláštění (50 mm) je vypočítána plošná hmotnost $43,5 \text{ kg/m}^2$, ke které se ještě připočítá přídatné zatížení 5 kg/m^2 . Objemové tíhy materiálů byly převzaty z podkladů výrobců..

SI - kanceláře

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g -	g_d [kN/m ²]
laminátové desky	10	800	$0,01 \cdot 8 \cdot 1$	0,0800	1,35	0,1080
samonivelační stěrka	10	1700	$0,01 \cdot 17 \cdot 1$	0,1700	1,35	0,2295
betonová mazanina	40	2300	$0,04 \cdot 23 \cdot 1$	0,9200	1,35	1,2420
PE fólie	0,2	900	$0,0002 \cdot 9 \cdot 1$	0,0018	1,35	0,0024
izolace EPS	40	13,5	$0,04 \cdot 0,135 \cdot 1$	0,0054	1,35	0,0073
ŽB deska	-	-	-	-	-	-
vzduchotechnika	-	-	-	0,5000	1,35	0,6750
podhled	-	-	-	0,4850	1,35	0,6548
celkem				2,1622		2,9190

Tabulka 4.1 - Výpočet plošného zatížení na stropní desku D1 a D2 (kanceláře)

S2 - chodba, toalety

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g -	g_d [kN/m ²]
keramická dlažba	10	2000	0,01·20·1	0,2000	1,35	0,2700
cementové lepidlo	10	1500	0,01·15·1	0,1500	1,35	0,2025
betonová mazanina	40	2300	0,04·23·1	0,9200	1,35	1,2420
PE fólie	0,2	900	0,0002·9·1	0,0018	1,35	0,0024
izolace EPS	40	13,5	0,04·0,135·1	0,0054	1,35	0,0073
ŽB deska	-	-	-	-	-	-
vzduchotechnika	-	-	-	0,5000	1,35	0,6750
podhled	-	-	-	0,4850	1,35	0,6548
celkem				2,2622		3,0540

Tabulka 4.2 - Výpočet plošného zatížení na stropní desku D1 a D2 (chodba, toalety)

S3 - schodiště - podesta

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g -	g_d [kN/m ²]
keramická dlažba	10	2000	0,01·20·1	0,2000	1,35	0,2700
cementové lepidlo	10	1500	0,01·15·1	0,1500	1,35	0,2025
ŽB deska	-	-	-	-	-	-
vnitřní omítka	10	1400	0,01·14·1	0,1400	1,35	0,1890
celkem				0,4900		0,6615

Tabulka 4.3 - Výpočet plošného zatížení na podestu schodiště

S4 - schodiště - rameno

Výpočet vlastní tíhy schodišťového stupně:

část schodiště	počet schodů n	γ [kN/m ³]	délka ramene l [m]	šířka b_{st} [m]	výška h_{st} [m]
rameno	10	25	3,490	0,31	0,16

Tabulka 4.4 - Výpočet tíhy schodišťového stupně

$$g_{st,k} = \frac{0,5 \cdot n \cdot b_{st} \cdot h_{st} \cdot \gamma_{st}}{l_{ramene}} = \frac{0,5 \cdot 10 \cdot 0,31 \cdot 0,16 \cdot 25}{3,498} = 1,7772 \text{ kN/m}^2$$

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g -	g_d [kN/m ²]
keramická dlažba	10	2000	0,01·20·1	0,2000	1,35	0,2700
cementové lepidlo	10	1500	0,01·15·1	0,1500	1,35	0,2025
schodišťové stupně	-	-	-	1,7772	1,35	2,3993
ŽB deska	-	-	-	-	-	-
vnitřní omítka	10	1400	0,01·14·1	0,1400	1,35	0,1890
celkem				2,2672		3,0608

Tabulka 4.5 - Výpočet plošného zatížení na schodišťové rameno

S5 - střecha pochůzí

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g -	g_d [kN/m ²]
keramická dlažba	10	2000	0,01·20·1	0,2000	1,35	0,2700
cementové lepidlo	4,5	1500	0,0045·15·1	0,0675	1,35	0,0911
hydroizolační stěrka	2	1700	0,002·17·1	0,0340	1,35	0,0459
betonová mazanina	50	2300	0,05·23·1	1,1500	1,35	1,5525
HDPE fólie	8	900	0,008·9·1	0,0720	1,35	0,0972
PE fólie	0,2	900	0,0002·9·1	0,0018	1,35	0,0024
hydroizolace	1,5	2	0,0015·0,02·1	0,00003	1,35	0,00004
PE fólie	0,2	900	0,0002·9·1	0,0018	1,35	0,0024
minerální vlna - spád	150	160	0,08·1,6·1	0,2400	1,35	0,3240
minerální vlna	220	160	0,22·1,6·1	0,3520	1,35	0,4752
parozábrana	4	4,54	0,004·0,0454·1	0,0002	1,35	0,0002
ŽB deska	-	-	-	-	-	-
vzduchotechnika	-	-	-	0,5000	1,35	0,6750
podhled	-	-	-	0,4850	1,35	0,6548
celkem				3,1043		4,1908

Tabulka 4.6 - Výpočet plošného zatížení na střešní desku

S6 - střecha nepochůzí (jádro)

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g -	g_d [kN/m ²]
hydroizolace	8	9,08	$0,008 \cdot 0,0908 \cdot 1$	0,0007	1,35	0,0010
minerální vlna - spád	150	160	$0,08 \cdot 1,6 \cdot 1$	0,2400	1,35	0,3240
minerální vlna	220	160	$0,22 \cdot 1,6 \cdot 1$	0,3520	1,35	0,4752
parozábrana	4	4,54	$0,004 \cdot 0,0454 \cdot 1$	0,0002	1,35	0,0002
ŽB deska	-	-	-	-	-	-
vnitřní omítka	10	1400	$0,01 \cdot 14 \cdot 1$	0,1400	1,35	0,1890
celkem				0,7329		0,9894

Tabulka 4.7 - Výpočet plošného zatížení na střešní desku jádra

4.1.3 Skladba svislých konstrukcí

Zatížení od svislých konstrukcí bylo zadáno do 3D modelu jako liniové zatížení, které působí na hraně (obvodové zdivo, atika) nebo v ploše desky (vnitřní zdivo). Pokud je charakteristické zatížení od liniových konstrukcí menší nebo rovno 3,0 kN/m, lze namísto liniového zatížení uvažovat ekvivalentní plošné zatížení, které se přičte k užitému zatížení stropních konstrukcí [10].

S7 - obvodové zdivo

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	h [m]	g_k [kN/m]	γ_g -	g_d [kN/m]
tenkovrstvá omítka	3	1600	$0,003 \cdot 16 \cdot 1$	0,0480	2,92	0,1402	1,35	0,1892
tmel + síťovina	3	2100	$0,003 \cdot 21 \cdot 1$	0,0630	2,92	0,1840	1,35	0,2483
minerální vlna	200	160	$0,2 \cdot 1,6 \cdot 1$	0,3200	2,92	0,9344	1,35	1,2614
lepící tmel	8	1450	$0,008 \cdot 14,5 \cdot 1$	0,1160	2,92	0,3387	1,35	0,4573
tvárnice YTONG	200	550	$0,2 \cdot 5,5 \cdot 1$	1,1000	2,92	3,2120	1,35	4,3362
vnitřní omítka	10	1400	$0,01 \cdot 14 \cdot 1$	0,1400	2,92	0,4088	1,35	0,5519
celkem						5,2180		7,0444

Tabulka 4.8 - Výpočet liniového zatížení od obvodového zdiva

S8 - vnitřní zdivo tl. 150 mm

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	h [m]	g_k [kN/m]	γ_g -	g_d [kN/m]
vnitřní omítka	10	1400	$0,01 \cdot 14 \cdot 1$	0,1400	3,32	0,4648	1,35	0,6275
tvárnice YTONG	150	550	$0,15 \cdot 5,5 \cdot 1$	0,8250	3,32	2,7390	1,35	3,6977
vnitřní omítka	10	1400	$0,01 \cdot 14 \cdot 1$	0,1400	3,32	0,4648	1,35	0,6275
celkem						3,6686		4,9526

Tabulka 4.9 - Výpočet liniového zatížení od vnitřního nenosného zdiva tl. 150 mm

S9 - vnitřní zdivo tl. 100 mm

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	h [m]	g_k [kN/m]	γ_g -	g_d [kN/m]
vnitřní omítka	10	1400	$0,01 \cdot 14 \cdot 1$	0,1400	3,32	0,4648	1,35	0,6275
tvárnice YTONG	100	550	$0,15 \cdot 5,5 \cdot 1$	0,5500	3,32	1,8260	1,35	2,4651
vnitřní omítka	10	1400	$0,01 \cdot 14 \cdot 1$	0,1400	3,32	0,4648	1,35	0,6275
celkem						2,7556		3,7201

Tabulka 4.10 - Výpočet liniového zatížení od vnitřního nenosného zdiva tl. 100 mm

U těchto příček lze jimi způsobené liniové zatížení, převést na ekvivalentní plošné zatížení. Pro přemístitelné příčky, jejichž vlastní tíha na metr délky je menší než 3,0 kN/m, platí přepočet na rovnoměrné zatížení $q_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$. Toto zatížení bylo ve výpočetním modelu přidáno k vypočítanému užitému zatížení z kapitoly 4.2.1.

S10 - atika

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	h [m]	g_k [kN/m]	γ_g -	g_d [kN/m]
tenkovrstvá omítka	3	1600	$0,003 \cdot 16 \cdot 1$	0,0480	1,5	0,0720	1,35	0,0972
tmel + síťovina	3	2100	$0,003 \cdot 21 \cdot 1$	0,0630	1,5	0,0945	1,35	0,1276
minerální vlna	200	160	$0,2 \cdot 1,6 \cdot 1$	0,3200	1,5	0,4800	1,35	0,6480
lepící tmel	8	1450	$0,008 \cdot 14,5 \cdot 1$	0,1160	1,5	0,1740	1,35	0,2349
ŽB	200	2500	$0,2 \cdot 25 \cdot 1$	5,0000	1,5	7,5000	1,35	10,1250
minerální vlna	80	160	$0,08 \cdot 1,6 \cdot 1$	0,1280	1,5	0,1920	1,35	0,2792
hydroizolace	8	9,08	$0,008 \cdot 0,0908 \cdot 1$	0,0007	1,5	0,0011	1,35	0,0015
celkem						8,5136		11,4933

Tabulka 4.11 - Výpočet liniového zatížení od atiky

S11 - atika (jádro)

skladba	t [mm]	ρ [kg/m ³]	výpočet	g_k [kN/m ²]	h [m]	g_k [kN/m]	γ_g -	g_d [kN/m]
tenkovrstvá omítka	3	1600	$0,003 \cdot 16 \cdot 1$	0,0480	0,7	0,0336	1,35	0,0454
tmel + síťovina	3	2100	$0,003 \cdot 21 \cdot 1$	0,0630	0,7	0,0441	1,35	0,0595
minerální vlna	200	160	$0,2 \cdot 1,6 \cdot 1$	0,3200	0,7	0,2240	1,35	0,3024
lepící tmel	8	1450	$0,008 \cdot 14,5 \cdot 1$	0,1160	0,7	0,0812	1,35	0,1096
ŽB	200	2500	$0,2 \cdot 25 \cdot 1$	5,0000	0,7	3,5000	1,35	4,7250
minerální vlna	80	160	$0,08 \cdot 1,6 \cdot 1$	0,1280	0,7	0,0896	1,35	0,1210
hydroizolace	8	9,08	$0,008 \cdot 0,0908 \cdot 1$	0,0007	0,7	0,0005	1,35	0,0007
celkem						3,9730		5,3636

Tabulka 4.12 - Výpočet liniového zatížení od atiky jádra

4.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

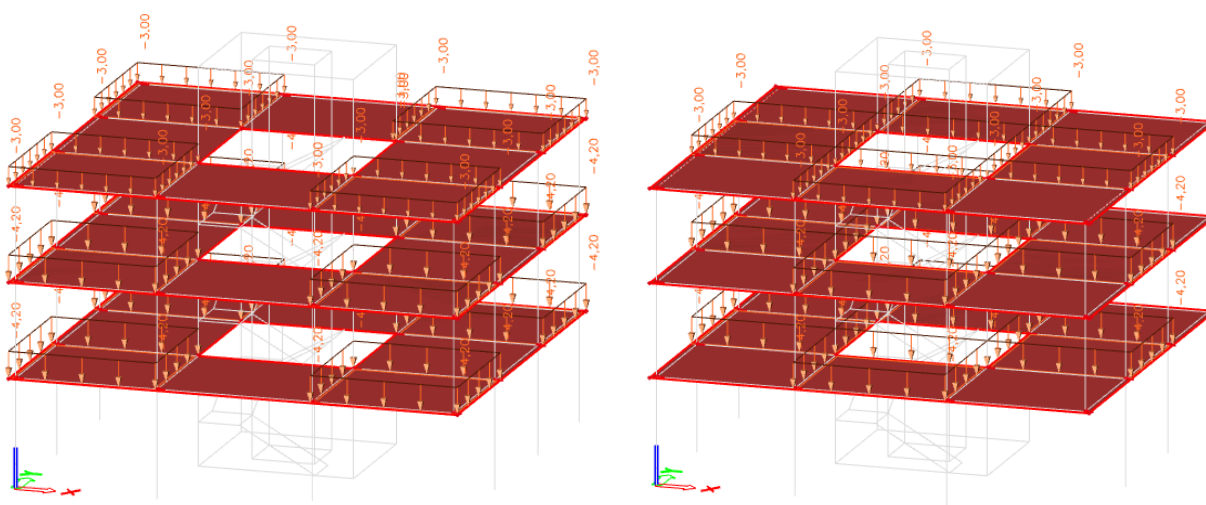
4.2.1 Zatížení užité

Hodnoty zatížení byly vypočítány podle [10]. K vypočítaným hodnotám bylo navíc připočteno ekvivalentní plošné zatížení od přemístitelné přičky.

	kategorie dle ČSN EN 1991-1-1	q_k [kN/m ²]	$q_k + q_{k,př}$ [kN/m ²]	γ_q -	q_d [kN/m ²]
1.NP	C1 - plochy se stoly (např. kavárny, restaurace, jídelny, recepce, ...)	3,0	-	1,5	4,5
	C3 - plochy bez překážek pro pohyb osob (např. přístupové plochy v administrativních budovách, hotelích, ...)	5,0	-	1,5	7,5
2.NP	B - kancelářské plochy	3,0	4,2	1,5	6,3
3.NP	B - kancelářské plochy	3,0	4,2	1,5	6,3
střecha	H - střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav	0,75	-	1,5	1,1
	I - střechy přístupné (pochůzné), s užíváním podle kategorií A až D	3,0	-	1,5	4,5

Tabulka 4.13 - Výpočet užitého zatížení

Do výpočetního modelu bylo užité zatížení zadáno pomocí tří zatěžovacích stavů: v prvním stavu bylo spojitě zatížení uvažováno na celé ploše desky, v dalších dvou bylo rozmístěno šachovnicově, jak je vidět na *obrázku 4.1* (umístění zatížení ve třetím stavu na inverzních plochách oproti druhému stavu).



Obrázek 4.1 - Šachovnicové rozmístění zatížení, varianta 1 a 2

4.2.2 Zatížení klimatické

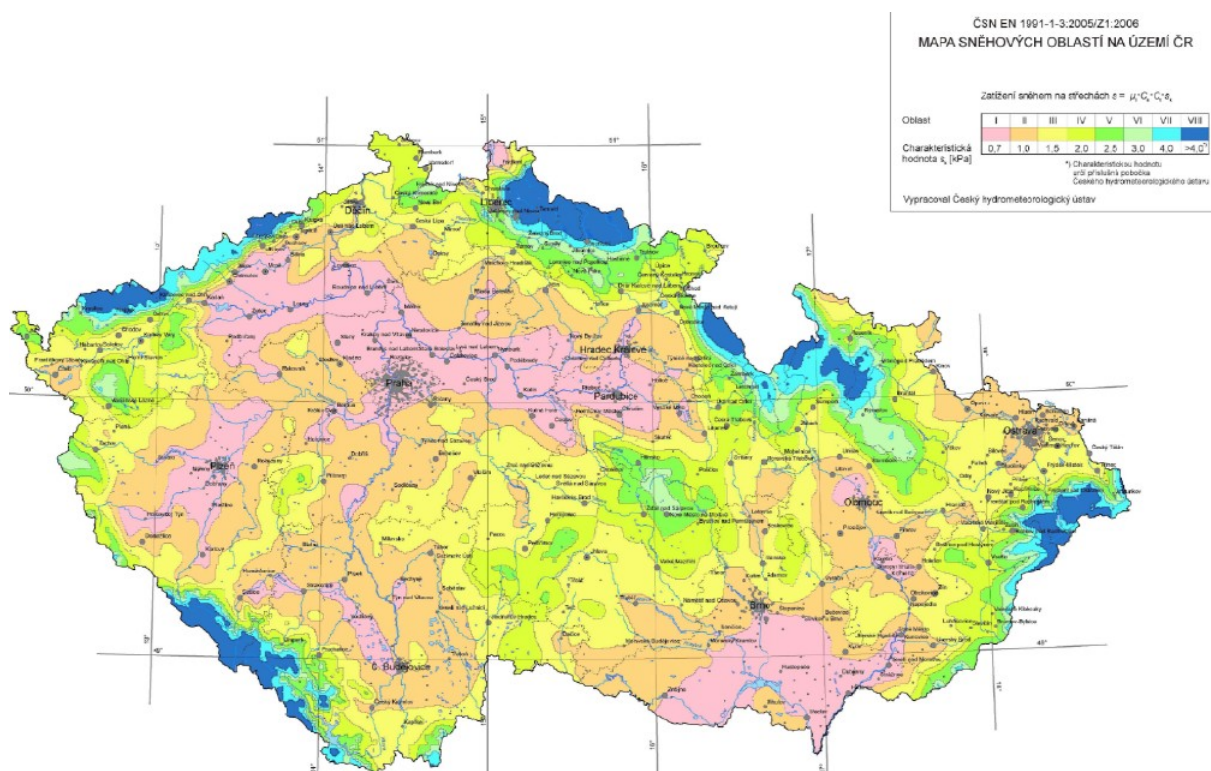
4.2.2.1 Zatížení sněhem

Výpočet byl proveden v souladu s požadavky normy ČSN EN 1991-1-3 [11].

Objekt má plochou střechu s vyvýšenými plochami, které jsou tvořeny vystupujícím jádrem a atikou, proto je nutné provést také výpočet navátého sněhu a jeho působení zohlednit.

Nenavátý sníh

Předpokládané umístění objektu je v Ostravě, která spadá do sněhové oblasti II - tato oblast byla určena podle mapy sněhových oblastí ČR. Typ krajiny byl zvolen normální, což znamená, že zde nedochází k výraznému přemístění sněhu vlivem větru.



Obrázek 4.2 - Mapa sněhových oblastí ČR [11]

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

charakteristická hodnota zatížení sněhem, pro sněhovou oblast II

$$C_e = 1,0$$

součinitel expozice, pro normální typ krajiny

$$C_t = 1,0$$

tepelný součinitel, pro prostup tepla střechy $U < 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

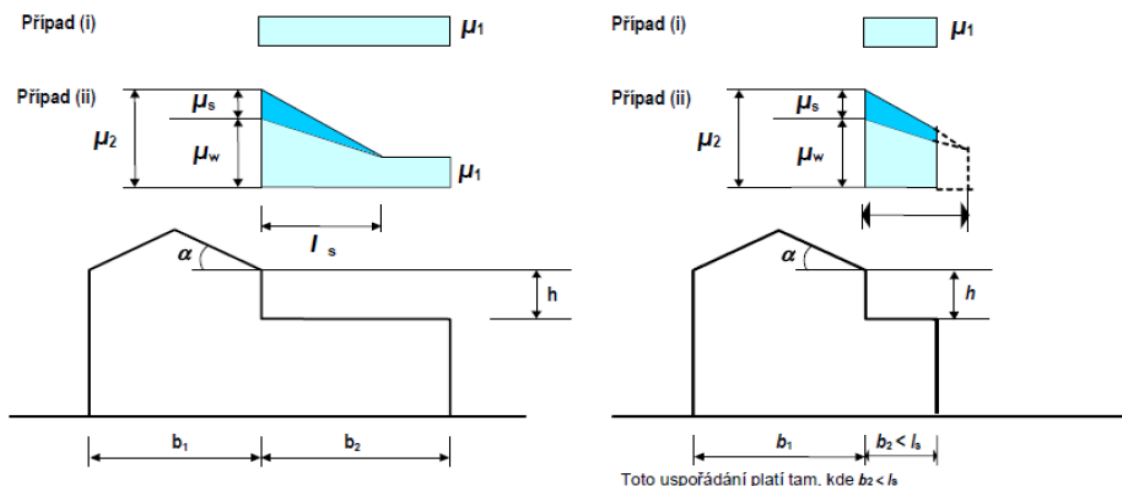
$$\alpha = 2^\circ$$

sklon střechy

$\mu_1 = 0,8$ tvarový součinitel, pro pultové střechy

$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$ hodnota zatížení sněhem

Navátý sníh



Obrázek 4.3 - Tvarový součinitel pro střechy přiléhající k vyšším stavbám

Navátý sníh u výtahové šachty (směr x)

$\mu_1 = 0,8$ tvarový součinitel, pokud je nižší střecha plochá
 $h = 3,3 \text{ m}$ rozdíl výšek mezi střechami
 $b_1 = 6,1 \text{ m}$ délka vyšší střechy
 $b_2 = 5,2 \text{ m}$ délka nižší střechy
 $l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 3,3 = 6,6 \text{ m}$ délka návěje, doporučené rozmezí je 5-15 m
 $\gamma_{sn} = 2,0 \text{ kN/m}^3$ objemová tíha sněhu
 $\mu_s = 0$ tvarový součinitel zohledňující sesuv sněhu, pro $\alpha \leq 15^\circ$
 $\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot h} = \frac{6,1 + 5,2}{2 \cdot 3,3} = 1,712$ tvarový součinitel zohledňující působení větru
 $0,8 \leq \mu_w = 1,527 \leq 2,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$
 $\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 1,712 = 1,712$ tvarový součinitel
 $s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,527 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,527 \text{ kN/m}^2$ zatížení navátým sněhem

Navátý sníh u výtahové šachty (směr y)

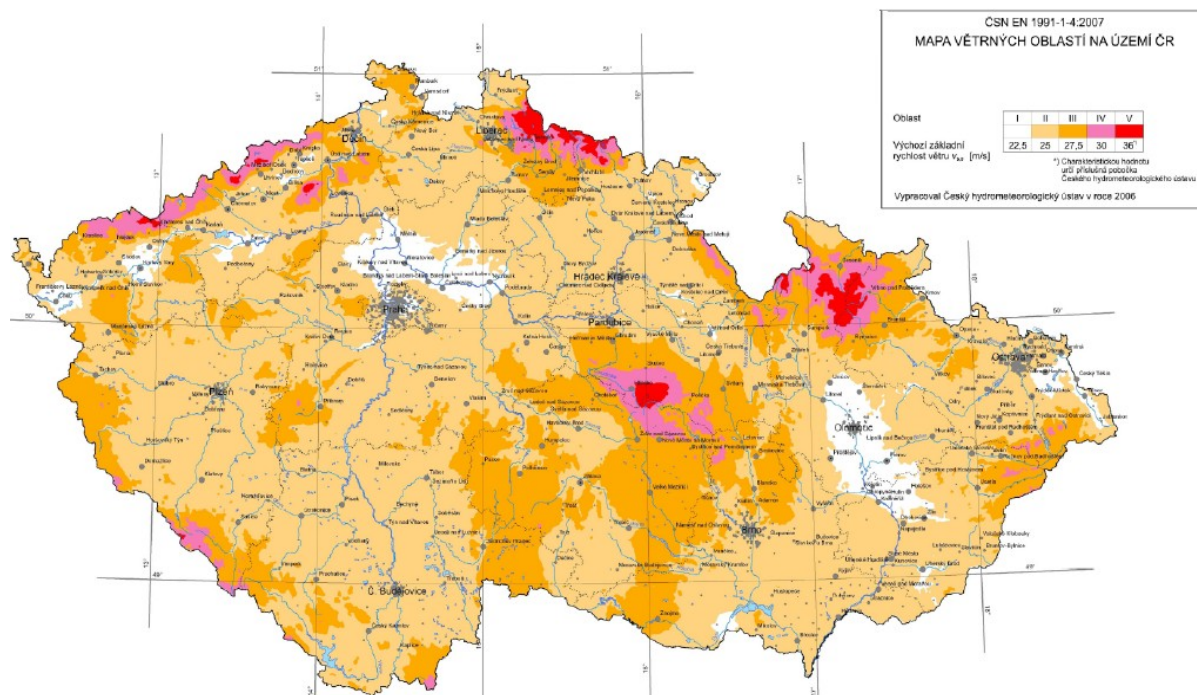
$\mu_1 = 0,8$ tvarový součinitel, pokud je nižší střecha plochá
 $h = 3,3 \text{ m}$ rozdíl výšek mezi střechami

$b_1 = 5,4 \text{ m}$	délka vyšší střechy
$b_2 = 4,8 \text{ m}$	délka nižší střechy
$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 3,3 = 6,6 \text{ m}$	délka návěje, doporučené rozmezí je 5-15 m
$\gamma_{sn} = 2,0 \text{ kN/m}^3$	objemová tíha sněhu
$\mu_s = 0$	tvarový součinitel zohledňující sesuv sněhu, pro $\alpha \leq 15^\circ$
$\mu_w = \frac{b_1+b_2}{2 \cdot h} = \frac{5,4+4,8}{2 \cdot 3,3} = 1,545$	tvarový součinitel zohledňující působení větru
$0,8 \leq \mu_w = 1,545 \leq 2,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$	
$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 1,545 = 1,545$	tvarový součinitel
$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,378 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,545 \text{ kN/m}^2$	zatížení navátým sněhem

4.2.2.2 Zatížení větrem

Výpočet byl proveden v souladu s požadavky normy ČSN EN 1991-1-4 [12]. Výpočet zatížení se rozdělil do dvou částí - na vítr, který působí na stěnu a střechu budovy a který působí na stěnu a střechu jádra.

Umístění objektu (Ostrava) spadá podle mapy větrných oblastí do větrné oblasti II [12].



Obrázek 4.4 - Mapa větrných oblastí ČR [12]

Maximální dynamický tlak - budova

Základní rychlost větru

$c_{dir} = 1,0$ součinitel směru větru, doporučená hodnota
 $c_{season} = 1,0$ součinitel ročního období, doporučená hodnota
 $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$ výchozí základní rychlost větru, pro větrnou oblast II
 $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$ základní rychlost větru

Referenční výška

$h = 10,94 \text{ m}$ výška budovy
 $h_p = 1,5 \text{ m}$ výška atiky
 $z_e = h + h_p = 10,94 + 1,5 = 12,44 \text{ m}$ referenční výška

Střední rychlost větru

Kategorie terénu je určena podle charakteru krajiny a jeho terénu. Předpokládá se umístění v oblasti, která odpovídá kategorii IV, což znamená, že se jedná o hustě zastavěnou městskou oblast [12].

Kategorie terénu	z_0 (m)	z_{\min} (m)
0 – moře a přímořské oblasti	0,003	1
I – jezera nebo vodorovná plochá krajina bez překážek	0,01	1
II – krajina s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky	0,05	2
III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami	0,3	5
IV – alespoň 15% povrchu je pokryto budovami, průměrná výška přesahuje 15m	1	10

Tabulka 4.14 - Kategorie terénů a jejich parametry [12]

$c_0(z) = 1,0$ součinitel ortografie, pro běžné případy

$z_0 = 1,0$ m parametr drsnosti terénu, pro kategorii terénu IV

$z_{0,II} = 0,05$ m parametr drsnosti terénu, pro kategorii terénu II

$z_{\min} = 10$ m minimální výška

$z_{\max} = 200$ m maximální výška

$z = z_e = 12,5$ m výška nad terénem

$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234$ součinitel terénu

$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,234 \cdot \ln \frac{12,44}{1,0} = 0,591$ součinitel drsnosti terénu, pro $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,591 \cdot 1,0 \cdot 25 = 14,768$ m/s střední rychlost větru

Intenzita turbulence

$k_I = 1,0$ součinitel turbulence, doporučená hodnota

$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{12,44}{1,0}} = 0,397$ intenzita turbulence, pro $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

Maximální dynamický tlak

$\rho = 1,25$ kg/m³ hustota vzduchu

$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625$ Pa základní tlak větru

$c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0^2 \cdot c_r^2 = [1 + 7 \cdot 0,397] \cdot 1,0^2 \cdot 0,591^2 = 1,318$ souč. expozice

$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 1,318 \cdot 390,625 = 514,812$ N/m² max. char. dynamický tlak

Tlak větru

$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$ tlak větru působící na vnější povrchy

$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi}$ tlak větru působící na vnitřní povrchy

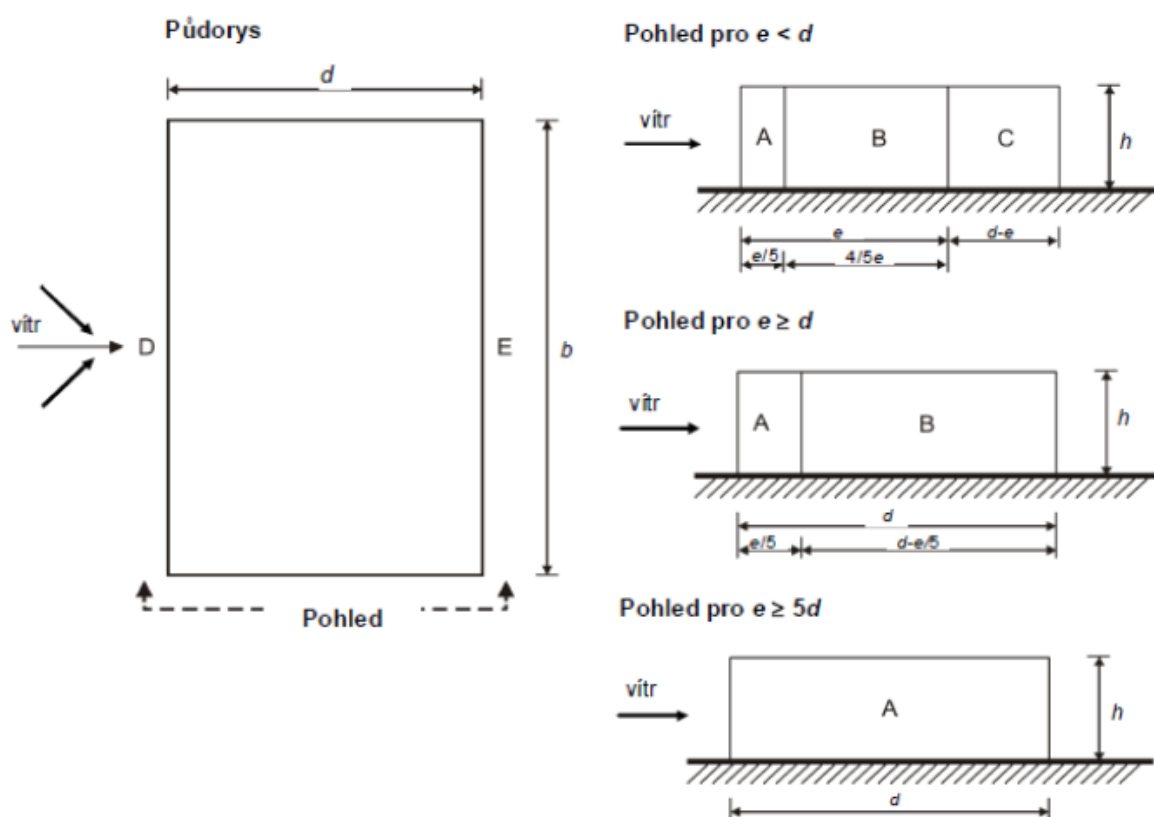
c_{pe} součinitel vnějšího tlaku, určen interpolací podle poměru h/d , pro stěny a střechy s plochou větší než 10 m^2 se bere $c_{pe} = c_{pe,10}$

c_{pi} součinitel vnitřního tlaku

Tlak větru na stěnu budovy

Oblast	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabulka 4.15 - Doporučené hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro stěny [12]



Obrázek 4.5 - Legenda pro svislé stěny [12]

Příčný vítr

$b = 16,5 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

$d = 15 \text{ m}$ rozměr rovnoběžný se směrem větru

$h = z_e = 12,44 \text{ m}$ referenční výška

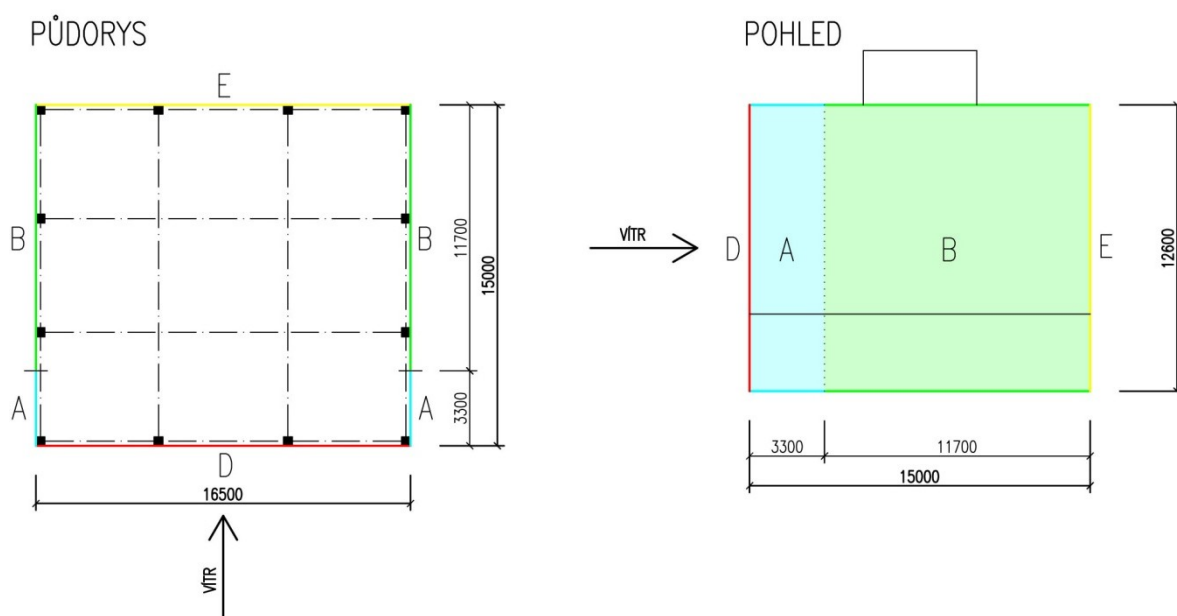
$h/d = 12,44/15 = 0,8293$ poměr výšky a kolmého rozměru

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(16,5; 2 \cdot 12,44) = 16,5 \text{ m}$ menší rozměr z b nebo $2 \cdot h$

$e/5 = 16,5/5 = 3,3 \text{ m}$

$4 \cdot e/5 = 4 \cdot 16,5/5 = 13,2 \text{ m}$

$d - e = 15 - 16,5 = -1,5 \text{ m}$



Obrázek 4.6 - Rozmístění zón na stěnách objektu (příčný vítr)

zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
A	-1,200	-0,6178	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
B	-0,800	-0,4118	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
C	-	-	-	-	-	-
D	0,779	0,4009	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
E	-0,457	-0,2354	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544

Tabulka 4.16 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru

Podélný vítr

$b = 15 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

$d = 16,5 \text{ m}$ rozměr rovnoběžný se směrem větru

$h = z_e = 12,44 \text{ m}$ referenční výška

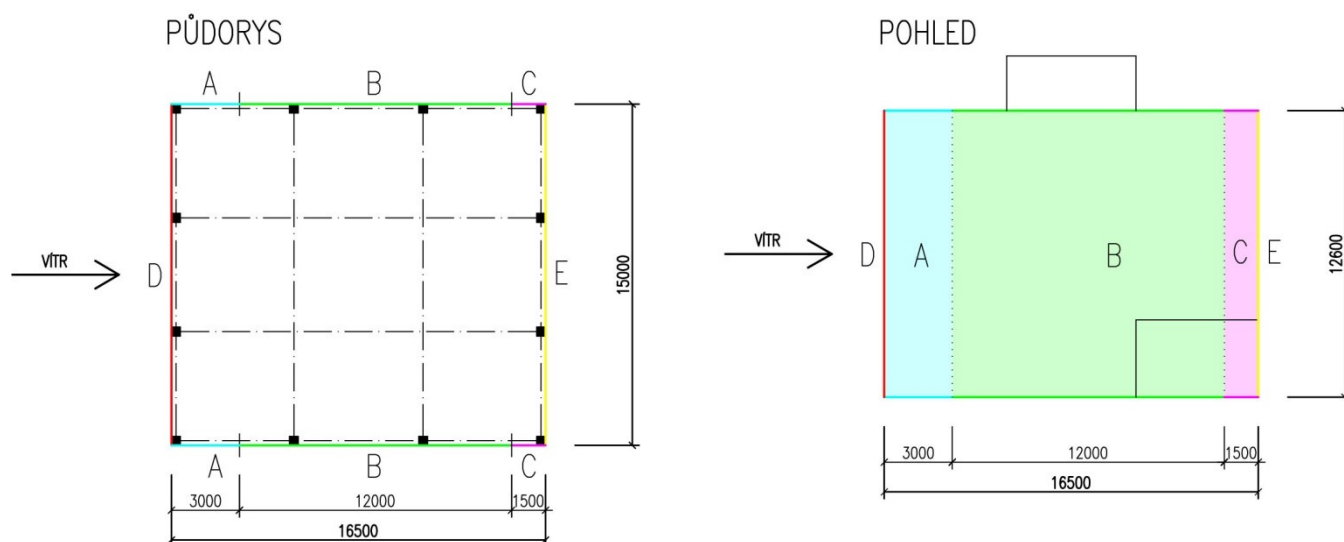
$h/d = 12,44/16,5 = 0,7539$ poměr výšky a kolmého rozměru

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(15; 2 \cdot 12,44) = 15 \text{ m}$ menší rozměr z b nebo $2 \cdot h$

$e/5 = 15/5 = 3 \text{ m}$

$4 \cdot e/5 = 4 \cdot 15/5 = 12 \text{ m}$

$d - e = 16,5 - 15 = 1,5 \text{ m}$



Obrázek 4.7 - Rozmístěných zón na stěnách objektu (podélný vítr)

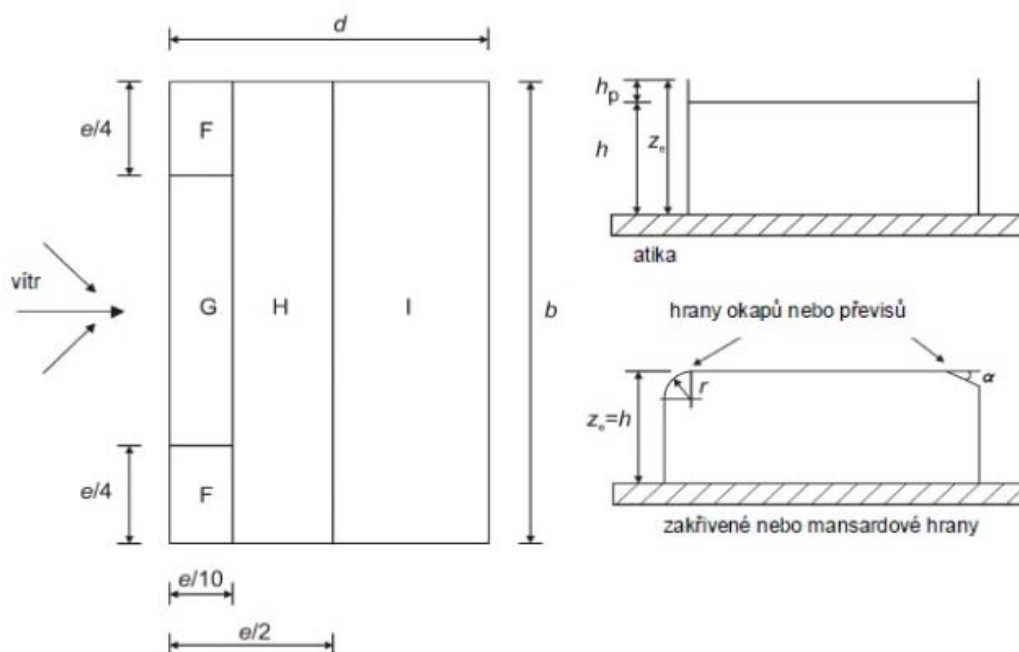
zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
A	-1,200	-0,6178	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
B	-0,800	-0,4118	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
C	-0,500	-0,2574	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
D	0,768	0,3956	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
E	-0,437	-0,2250	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544

Tabulka 4.17 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru

Tlak větru na plochou střechu budovy

Typ střechy		Oblasti							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Ostré hrany		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
S atikou	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2

Tabulka 4.18 - Doporučené hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro střechy [12]



Obrázek 4.8 - Legenda pro ploché střechy [12]

Příčný vítr

$$b = 16,5 \text{ m}$$

rozměr kolmý na směr větru

$$d = 15 \text{ m}$$

rozměr rovnoběžný se směrem větru

$$h = 10,94 \text{ m}$$

výška střechy

$$h_p = 1,5 \text{ m}$$

výška atiky

$$h_p/h = 1,5/10,94 = 0,1371 \quad \text{poměr výšky atiky a výšky střechy}$$

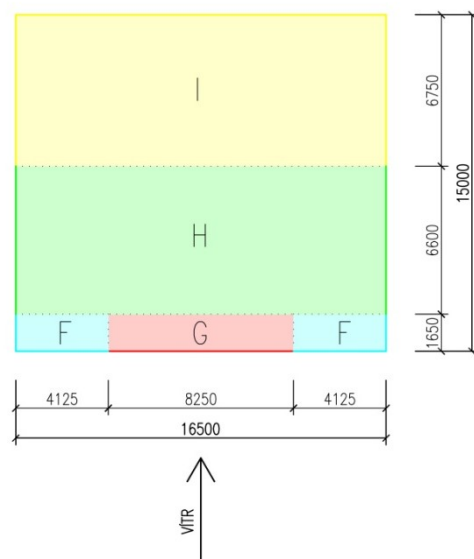
$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(16,5; 2 \cdot 10,94) = 16,5 \text{ m} \quad \text{menší rozměr z b nebo } 2 \cdot h$$

$$e/2 = 16,5/2 = 8,25 \text{ m}$$

$$e/4 = 16,5/4 = 4,125 \text{ m}$$

$$e/10 = 16,5/10 = 1,65 \text{ m}$$

PŮDORYS



Obrázek 4.9 - Rozmístěných zón na střeše objektu (příčný vítr)

zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
F	-1,018	-0,5242	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
G	-0,709	-0,3650	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
H	-0,700	-0,3604	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
I+	0,200	0,1030	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
I-	-0,200	-0,1030	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544

Tabulka 4.19 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru

Podélný vítr

$b = 15 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

$d = 16,5 \text{ m}$ rozměr rovnoběžný se směrem větru

$h = 10,94 \text{ m}$ výška střechy

$h_p = 1,5 \text{ m}$ výška atiky

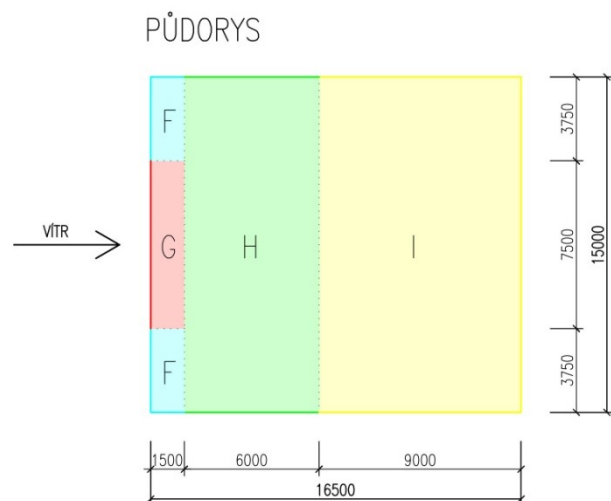
$h_p/h = 1,5/10,94 = 0,1371$ poměr výšky atiky a výšky střechy

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(15; 2 \cdot 10,94) = 15 \text{ m}$ menší rozměr z b nebo 2·h

$$e/2 = 15/2 = 7,5 \text{ m}$$

$$e/4 = 15/4 = 3,75 \text{ m}$$

$$e/10 = 15/10 = 1,5 \text{ m}$$



Obrázek 4.10 - Rozmístěných zón na střeše objektu (podélný vítr)

zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
F	-1,018	-0,5242	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
G	-0,709	-0,3650	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
H	-0,700	-0,3604	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
I+	0,200	0,1030	0,2	-0,3	0,1030	-0,1544
I-	-0,200	-0,1030	0,2	-0,3	0,1032	-0,1544

Tabulka 4.20 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru

Maximální dynamický tlak - jádro

Při výpočtu zatížení větrem na stěny a střechu jádra bylo postupováno stejně jako v případě stěn a střechy celé budovy. Změnily se pouze rozměry počítané části objektu. Pro přehlednost je uveden i zkrácený výpočet maximálního dynamického tlaku, který na jádro působí a který se kvůli odlišné referenční výšce změní.

Referenční výška

$$h = 14,46 \text{ m} \quad \text{výška budovy}$$

$$h_p = 0,7 \text{ m} \quad \text{výška atiky}$$

$$z_e = h + h_p = 14,46 + 0,5 = 15,16 \text{ m} \quad \text{referenční výška}$$

Střední rychlost větru

$$z = z_e = 14,46 \text{ m} \quad \text{výška nad terénem}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,234 \quad \text{součinitel terénu}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,234 \cdot \ln \frac{15,16}{1,0} = 0,637 \quad \text{součinitel drsnosti terénu, pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,637 \cdot 1,0 \cdot 25 = 15,927 \text{ m/s} \quad \text{střední rychlost větru}$$

Intenzita turbulence

$$k_I = 1,0 \quad \text{součinitel turbulence, doporučená hodnota}$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{15,16}{1,0}} = 0,368 \quad \text{intenzita turbulence, pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Maximální dynamický tlak

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{hustota vzduchu}$$

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ Pa} \quad \text{základní tlak větru}$$

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0^2 \cdot c_r^2 = [1 + 7 \cdot 0,368] \cdot 1,0^2 \cdot 0,637^2 = 1,451 \quad \text{souč. expozice}$$

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 1,444 \cdot 390,625 = 566,726 \text{ N/m}^2 \quad \text{max. char. dynamický tlak}$$

Tlak větru na stěny jádra

Příčný vítr

$b = 6,1 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

$d = 5,4 \text{ m}$ rozměr rovnoběžný se směrem větru

$h = z_e = 15,16 \text{ m}$ referenční výška

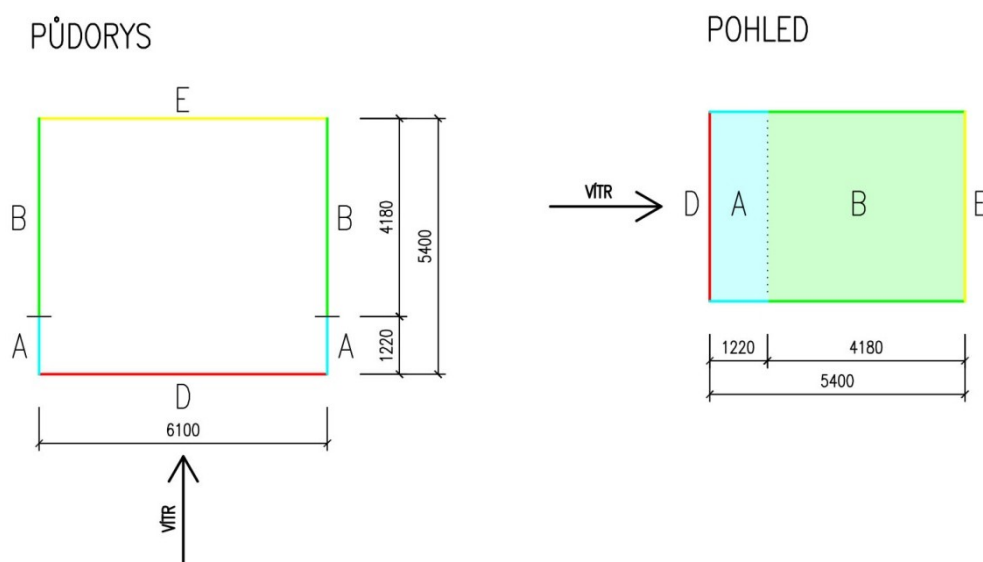
$h/d = 15,16/5,4 = 2,8074$ poměr výšky a kolmého rozměru

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(6,1; 2 \cdot 15,16) = 6,1 \text{ m}$ menší rozměr z b nebo $2 \cdot h$

$e/5 = 6,1/5 = 1,22 \text{ m}$

$4 \cdot e/5 = 4 \cdot 6,1/5 = 4,88 \text{ m}$

$d - e = 5,4 - 6,1 = -0,7 \text{ m}$



Obrázek 4.11 - Rozmístěných zón na stěnách objektu (příčný vítr)

zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
A	-1,200	-0,6801	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
B	-0,800	-0,4534	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
C	-	-	-	-	-	-
D	0,800	0,4534	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
E	-0,589	-0,3337	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700

Tabulka 4.21 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru

Podélný vítr

$b = 5,4 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

$d = 6,1 \text{ m}$ rozměr rovnoběžný se směrem větru

$h = z_e = 15,16 \text{ m}$ referenční výška

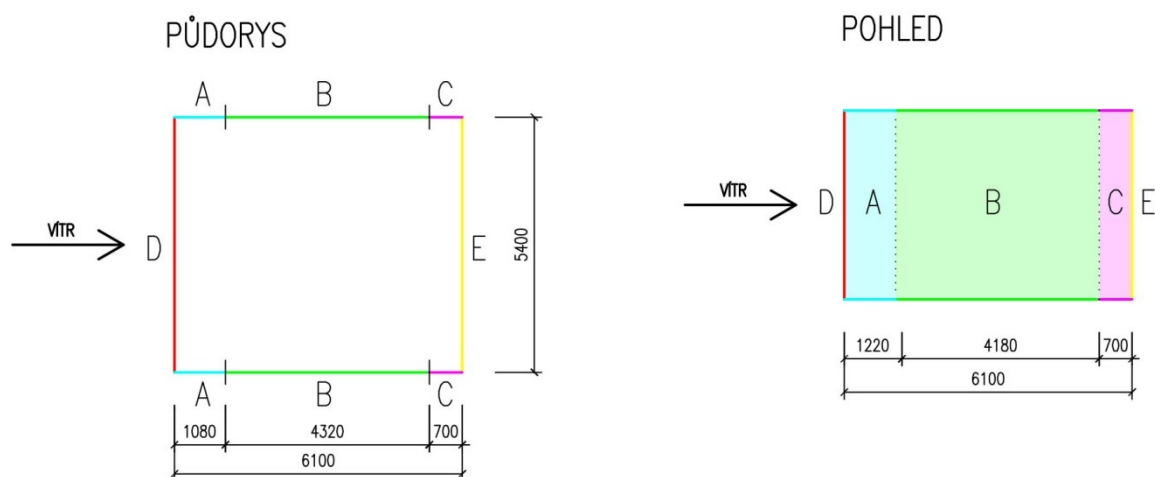
$h/d = 15,16/6,1 = 2,4852$ poměr výšky a kolmého rozměru

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(5,4; 2 \cdot 15,16) = 5,4 \text{ m}$ menší rozměr z b nebo $2 \cdot h$

$e/5 = 5,4/5 = 1,08 \text{ m}$

$4 \cdot e/5 = 4 \cdot 5,4/5 = 4,32 \text{ m}$

$d - e = 6,1 - 5,4 = 0,7 \text{ m}$



Obrázek 4.12 - Rozmístěných zón na stěnách objektu (podélný vítr)

zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
A	-1,200	-0,6801	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
B	-0,800	-0,4534	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
C	-0,500	-0,2834	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
D	0,800	0,4534	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
E	-0,573	-0,3247	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700

Tabulka 4.22 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru

Tlak větru na střechu jádra

Příčný vítr

$b = 6,1 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

$d = 5,4 \text{ m}$ rozměr rovnoběžný se směrem větru

$h = 14,46 \text{ m}$ výška střechy

$h_p = 0,7 \text{ m}$ výška atiky

$h_p/h = 14,46/0,7 = 0,0484$ poměr výšky atiky a výšky střechy

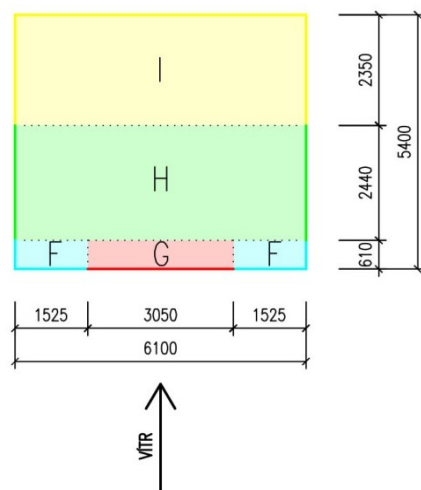
$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(6,1; 2 \cdot 14,46) = 6,1 \text{ m}$ menší rozměr z b nebo $2 \cdot h$

$e/2 = 6,1/2 = 3,05 \text{ m}$

$e/4 = 6,1/4 = 1,525 \text{ m}$

$e/10 = 6,1/10 = 0,61 \text{ m}$

PŮDORYS



Obrázek 4.13 - Rozmístěných zón na střeše objektu (příčný vítr)

zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
F	-2,124	-1,2038	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
G	-1,024	-0,5804	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
H	-0,700	-0,3967	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
I+	0,200	0,1133	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
I-	-0,200	-0,1133	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700

Tabulka 4.23 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru

Podélný vítr

$b = 5,4 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

$d = 6,1 \text{ m}$ rozměr rovnoběžný se směrem větru

$h = 14,46 \text{ m}$ výška střechy

$h_p = 0,7 \text{ m}$ výška atiky

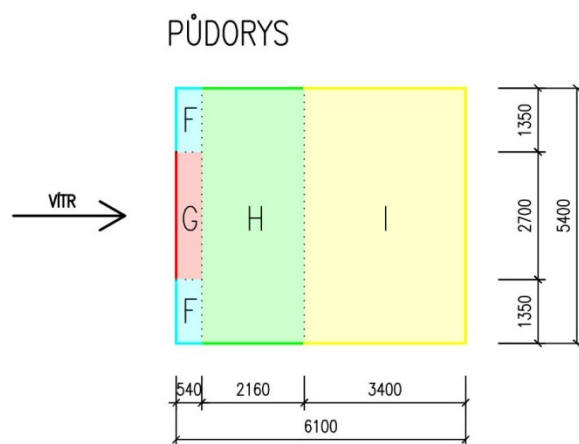
$h_p/h = 14,46/0,7 = 0,0484$ poměr výšky atiky a výšky střechy

$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(5,4; 2 \cdot 14,46) = 5,4 \text{ m}$ menší rozměr z b nebo $2 \cdot h$

$e/2 = 5,4/2 = 2,7 \text{ m}$

$e/4 = 5,4/4 = 1,35 \text{ m}$

$e/10 = 5,4/10 = 0,54 \text{ m}$



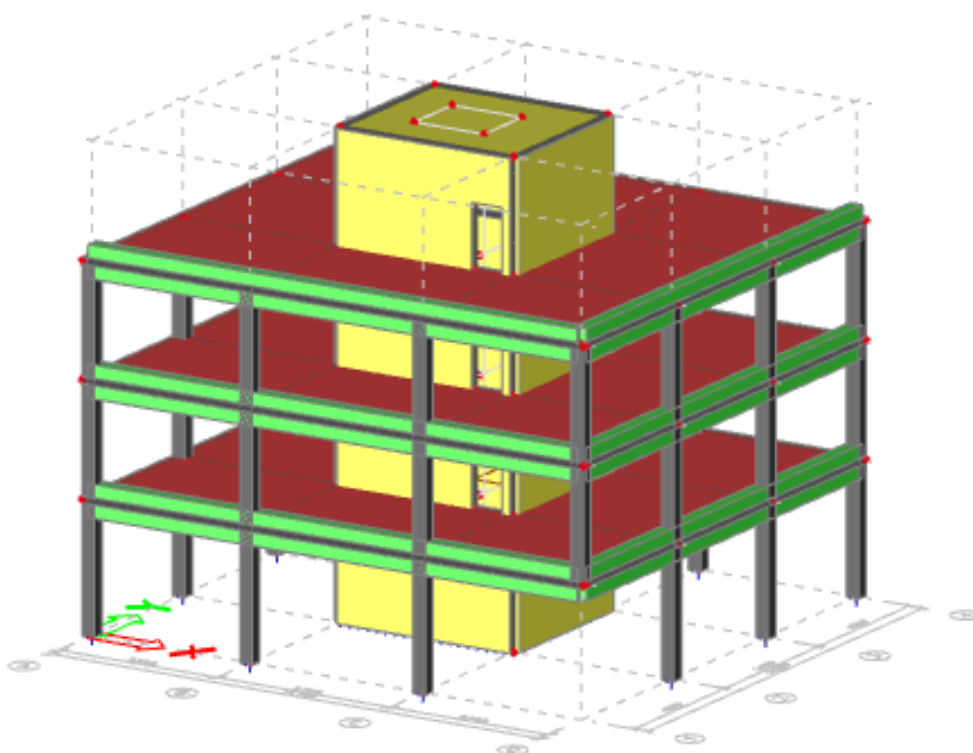
Obrázek 4.14 - Rozmístěných zón na střeše objektu (podélný vítr)

zóna	$c_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]	c_{pi}^+	c_{pi}^-	w_i [kN/m ²]	
F	-2,124	-1,2083	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
G	-1,024	-0,5804	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
H	-0,700	-0,3967	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
I+	0,200	0,1133	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700
I-	-0,200	-0,1133	0,2	-0,3	0,1133	-0,1700

Tabulka 4.24 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru

5 VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE

Výpočetní model byl vytvořen v programu SCIA Engineer. Model se skládá z plošných (desky, stěny) a prutových prvků (sloupy, průvlaky). Velikost konečných prvků se zvolila s ohledem na rozměry jednotlivých prvků (rozhodující byla především tloušťka desky) a na náročnost a přesnost výpočtu. Nakonec byl jako ideální velikost sítě vyhodnocen rozměr 0,25x0,25 mm. V případě potřeby byla síť lokálně zahuštěna.



Obrázek 5.1 - Model konstrukce

5.1 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Do 3D modelu bylo zatížení vypočítané v kapitole 4 zadáno v charakteristických hodnotách a program SCIA Engineer si následně při výpočtu sám dopočítal kombinační součinitele podle předem zvoleného kombinačního pravidla, které se řídí normou ČSN EN 1990 [13].

Pro mezní stav únosnosti se zvolilo kombinační pravidlo *EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B* pro trvalé a dočasné návrhové situace. Vnitřní síly jsou dopočítány podle rovnic 6.10a a 6.10b, které lze najít v [13].

Pro mezní stav použitelnosti bylo vybráno pravidlo *EN-MSP charakteristická* pro nevratné mezní stavy a *EN-MSP kvazistálá* pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce.

5.1.1 Zatěžovací stavy

V programu SCIA Engineer bylo pro zadávání zatížení vytvořeno 18 zatěžovacích stavů, jejichž specifikace jsou uvedeny v tabulce 5.1.

jméno	popis	typ působení	skupina zatížení	typ zatížení	vztah zatížení ve skupině
ZS1	vlastní tíha	stálé	SZ1	vlastní tíha	standard
ZS2	ostatní stálé	stálé	SZ1	standard	-
ZS3	užitné vše	proměnné	SZ2	statické	-
ZS4	užitné šachovnice 1	proměnné	SZ2	statické	výběrová
ZS5	užitné šachovnice 2	proměnné	SZ2	statické	výběrová
ZS6	sníh plošný	proměnné	SZ3	statické	standard
ZS7	sníh navátý x+	proměnné	SZ4	statické	výběrová
ZS8	sníh navátý x-	proměnné	SZ4	statické	výběrová
ZS9	sníh navátý y+	proměnné	SZ4	statické	výběrová
ZS10	sníh navátý y-	proměnné	SZ4	statické	výběrová
ZS11	vítr kolmo y+ I+	proměnné	SZ5	statické	výběrová
ZS12	vítr kolmo y+ I-	proměnné	SZ5	statické	výběrová
ZS13	vítr kolmo y- I+	proměnné	SZ5	statické	výběrová
ZS14	vítr kolmo y- I-	proměnné	SZ5	statické	výběrová
ZS15	vítr rovnoběžně x+ I+	proměnné	SZ5	statické	výběrová
ZS16	vítr rovnoběžně x+ I-	proměnné	SZ5	statické	výběrová
ZS17	vítr rovnoběžně x- I+	proměnné	SZ5	statické	výběrová
ZS18	vítr rovnoběžně x- I-	proměnné	SZ5	statické	výběrová

Tabulka 5.1 - Zatěžovací stavy

5.1.1.1 Stálé zatížení

Do zatěžovacího stavu ZS1 nebylo zadáno žádné zatížení, protože v tomto stavu je automaticky dopočítána vlastní tíha nosných prvků podle jejich rozměrů a materiálových charakteristik.

V zatěžovacím stavu ZS2 bylo zadáno plošné i liniové zatížení vypočítané v kapitole 4.1. Liniové zatížení bylo nutné umístit přesně do místa, ve kterém skutečně působí, např. zatížení od obvodového pláště byla zadána na okraj desky a zatížení od příčky bylo umístěno tak, jak je to uvedeno v projektové dokumentaci.

5.1.1.2 Užité zatížení

Do zatěžovacích stavů ZS3-ZS5 bylo vloženo užité zatížení z kapitoly 4.2.1. Toto zatížení se mezi sebou kombinuje výběrově, což znamená, že jednotlivé stavy nemohou působit v kombinaci společně, protože tím by se v některých případech mohla hodnota výsledného zatížení zdvojnásobit.

5.1.1.3 Sníh

Zatížení sněhem je rozděleno na sníh, který působí na celé ploše střechy (ZS6) a který je navátý (ZS7-ZS10). Navátý sníh je kombinován stejně jako užité zatížení (výběrově), protože se předpokládá, že v jednu chvíli je pouze jeden převládající směr větru, který způsobí navátí sněhu ke stěnám ztužujícího jádra a atice.

5.1.1.4 Vítr

Zbylých osm zatěžovacích stavů bylo vytvořeno pro zatížení způsobené větrem. Protože u působení větru se předpokládá, že nikdy nenastane stav, kdy by vítr foukal ze dvou různých stran, jsou tyto zatěžovací stavy nastaveny tak, aby nemohly v kombinaci působit společně. Tento princip je využitý i u užitého zatížení a zatížení sněhem, jak bylo zmíněno výše.

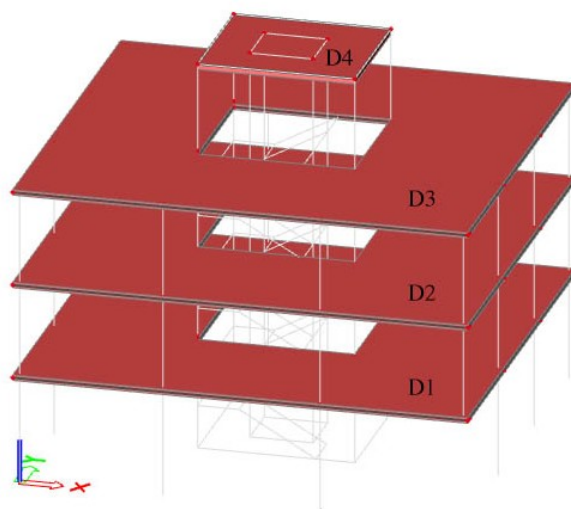
5.2 VNITŘNÍ SÍLY

5.2.1 Stropní a střešní desky

5.2.1.1 Model desek

Vodorovné plošné konstrukce jsou vytvořeny pomocí prvku *deska (90)* s konstantní tloušťkou 200 mm. Model konečného prvku je zvolen izotropní (ve všech směrech má stejné vlastnosti). Desky jsou modelované jako dvourozměrné prvky, což znamená že jejich geometrie je zadána svou šířkou a délkou. Tloušťka prvku ovlivňuje pouze výpočet tuhosti konstrukce.

Desky jsou podporovány průvlaky a sloupy, popřípadě stěnami jádra (deska D4). Desky D1, D2 a D3 mají ve středu vytvořen otvor, ve kterém je umístěno ztužující jádro. Tyto desky jsou od stěn jádra oddílovány, tudíž se mezi nimi nepřenáší žádné vnitřní síly.



Obrázek 5.2 - Model desek a jejich označení

5.2.1.2 Výsledné vnitřní síly na deskách

U desek je vyšetřovanou vnitřní silou ohybový moment. Z programu SCIA Engineer byly pro posouzení použity hodnoty tzv. dimenzačních momentů, které v sobě zahrnují vliv ohybového i kroutícího momentu.

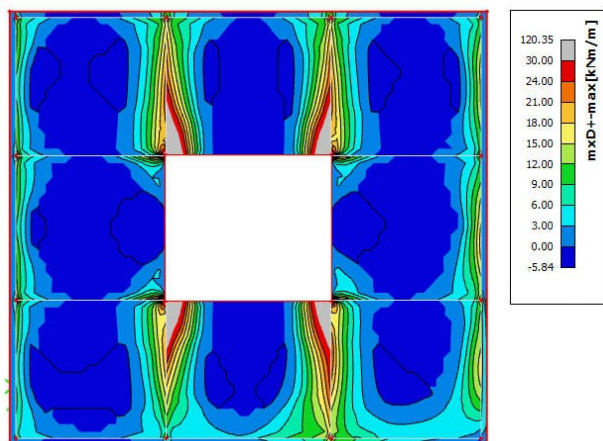
U výsledků vnitřních sil na desce je důležité si uvědomit, že výsledné hodnoty mohou být zkresleny extrémy, které vzniknou v okolí diskontinuit - kolem rohu otvoru desky. Tudíž v některých případech bylo nutné výslednou hodnotu dimenzačního momentu zjistit z řezů na desce, aby se předešlo předimenzování konstrukce z důvodu použití chybné hodnoty.

číslo desky	vnitřní síly			
	m_{ED,x^-} [kNm/m]	m_{ED,x^+} [kNm/m]	m_{ED,y^-} [kNm/m]	m_{ED,y^+} [kNm/m]
D1	25,96	24,79	22,80	21,30
D2	25,86	24,68	22,45	21,05
D3	26,97	26,38	22,89	21,49
D4	8,82	7,72	9,22	9,37

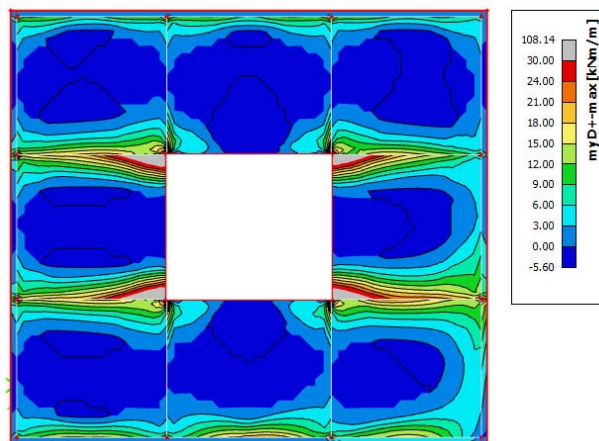
Tabulka 5.2 - Vnitřní síly na deskách

Podle výsledných vnitřních sil je vidět, že na deskách D1 až D3 jsou dimenzační momenty téměř totožné, tudíž vyztužení těchto desek bude stejné a navržené na momenty desky D3. Vyztuž střešní desky jádra bude navržena a posouzena zvlášť, neboť na této desce vznikají jiné vnitřní síly a použití stejné vyztuže jako u větších desek by bylo neekonomické.

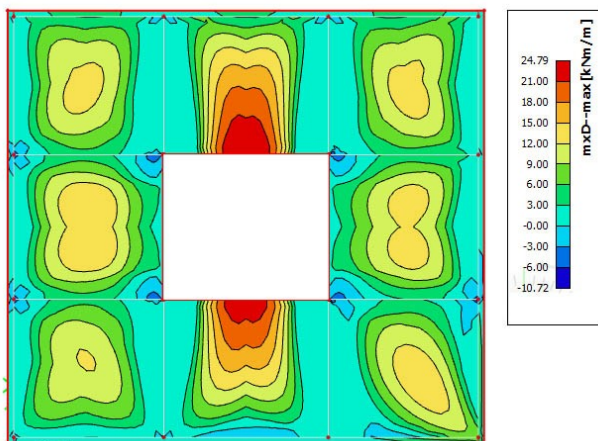
Deska D1



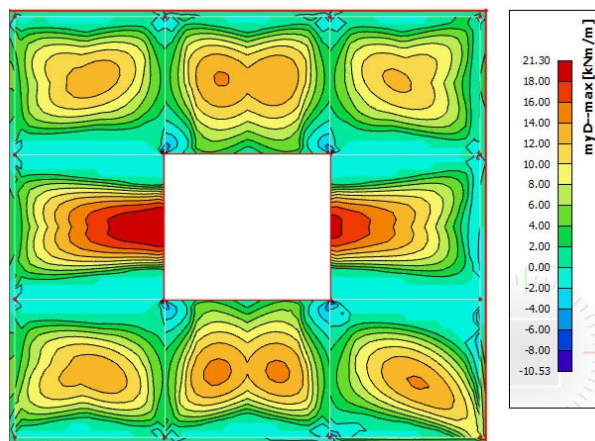
Obrázek 5.3 - Moment nad podporou, směr x



Obrázek 5.4 - Moment nad podporou, směr y

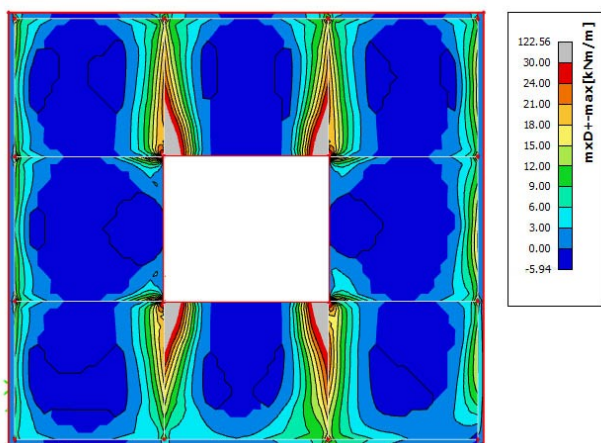


Obrázek 5.5 - Moment v poli, směr x

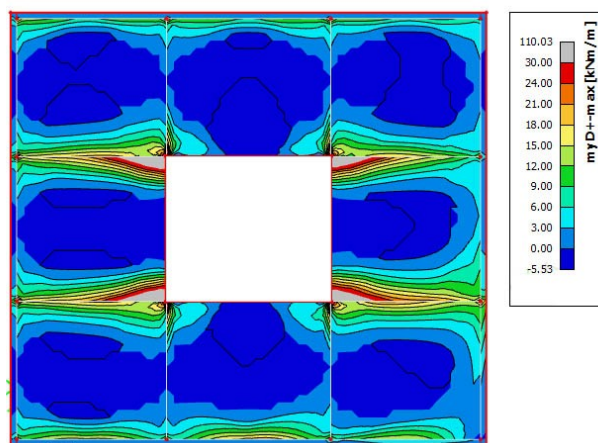


Obrázek 5.6 - Moment v poli, směr y

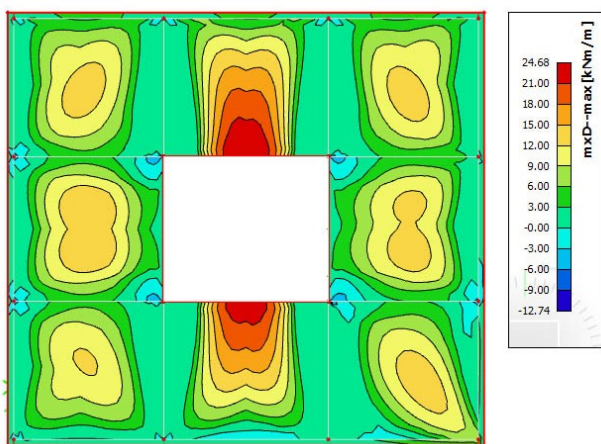
Deska D2



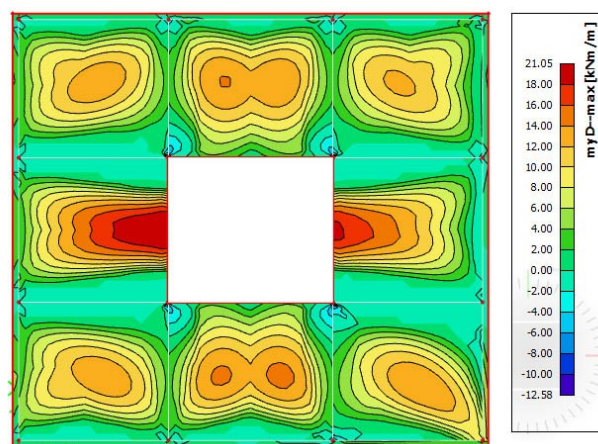
Obrázek 5.7 - Moment nad podporou, směr x



Obrázek 5.8 - Moment nad podporou, směr y

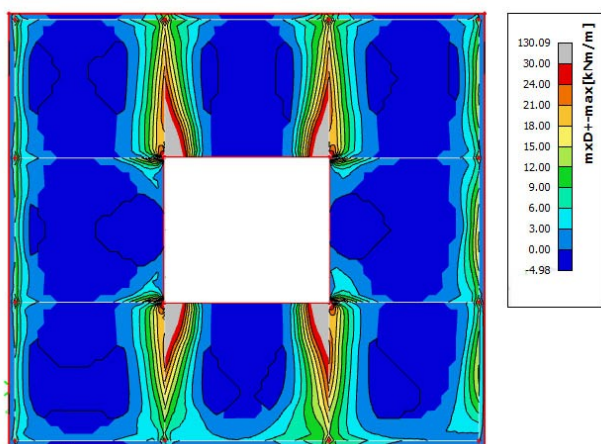


Obrázek 5.9 - Moment v poli, směr x

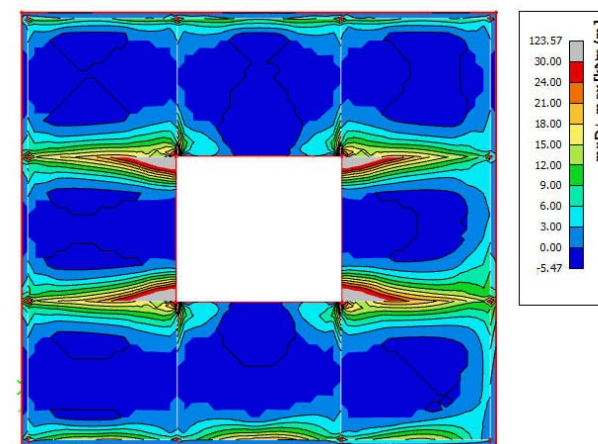


Obrázek 5.10 - Moment v poli, směr y

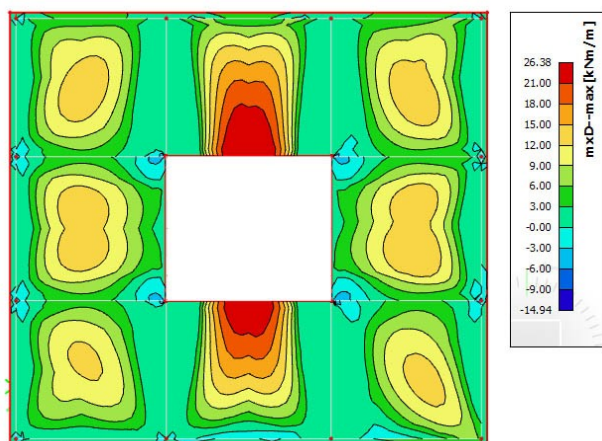
Deska D3



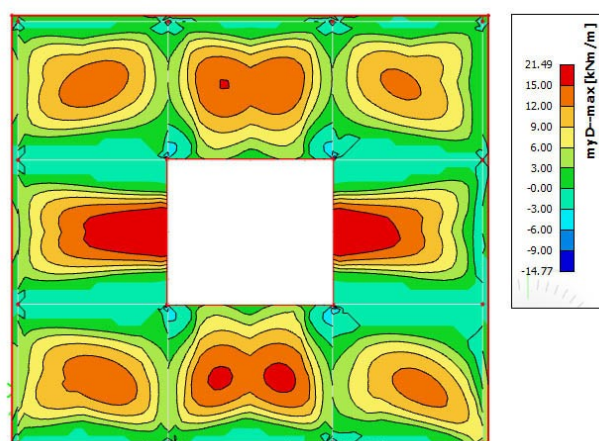
Obrázek 5.11 - Moment nad podporou, směr x



Obrázek 5.12 - Moment nad podporou, směr y

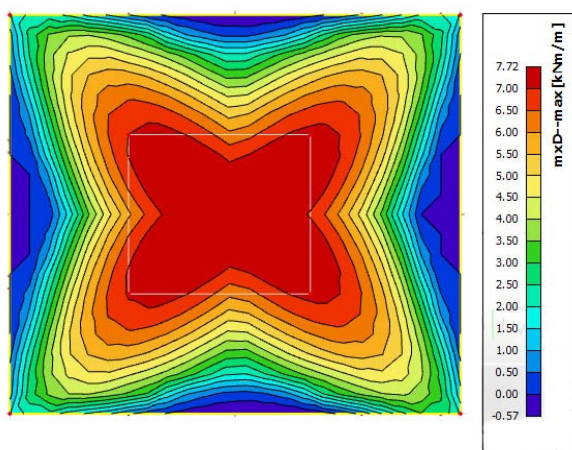


Obrázek 5.13 - Moment v poli, směr x

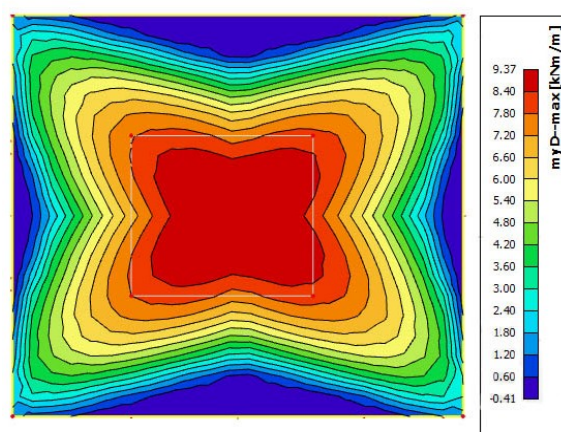


Obrázek 5.14 - Moment v poli, směr y

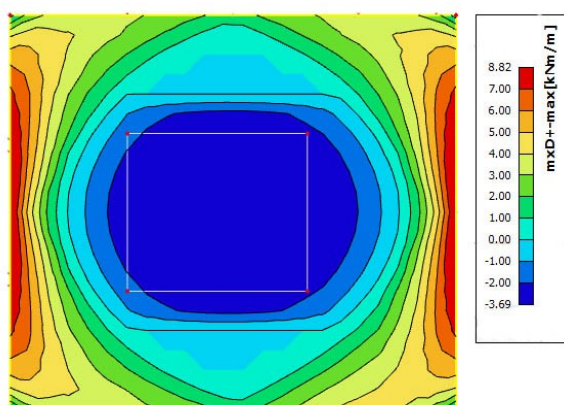
Deska D4



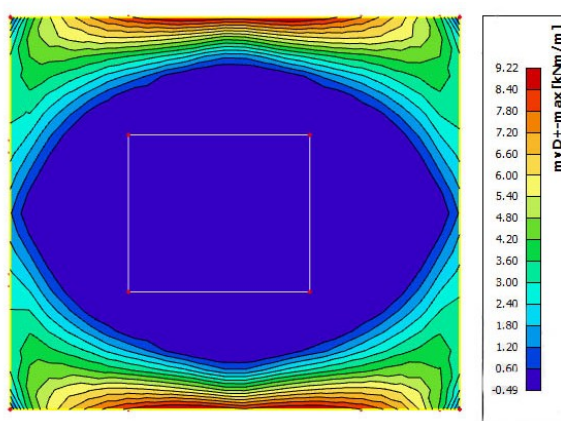
Obrázek 5.15 - Moment nad podporou, směr x



Obrázek 5.16 - Moment nad podporou, směr y



Obrázek 5.17 - Moment v poli, směr x



Obrázek 5.18 - Moment v poli, směr y

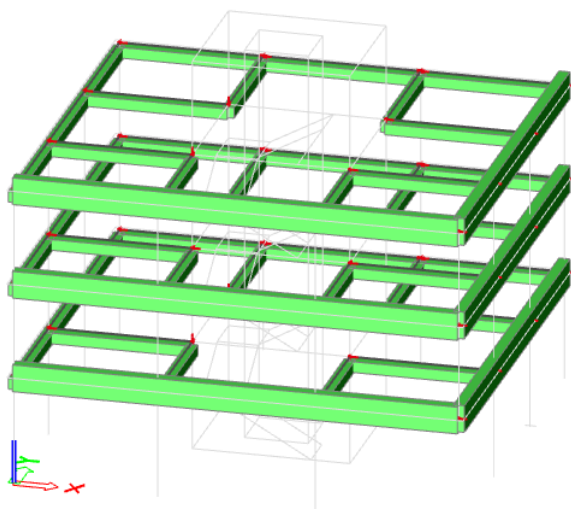
5.2.2 Průvlaky

5.2.2.1 Model průvlaků

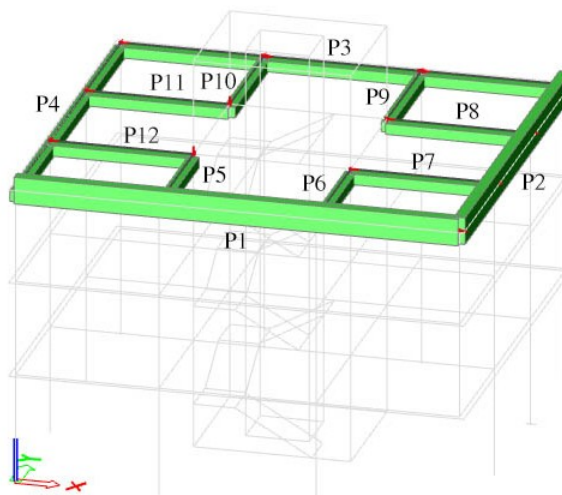
Vodorovné nosné konstrukce jsou vymodelovány jednorozměrným prvkem *nosník (80)*. V geometrii byla zadána pouze délka průvlaku.

Průvlaky jsou vetknuty do sloupů pomocí uzlů. Mezi stěnou ztužujícího jádra a průvlakem byl vytvořen kloubový spoj. Aby bylo současně zachováno monolitické působení průvlaků mezi sebou, umožnilo se v připojovacích uzlech volné pootočení pouze ve směru y (φ_y). I přes kloubové uložení vznikají v průvlacích u jádra záporné ohybové momenty, protože momenty M_x a M_z působící v jednom průvlaku, vytvářejí moment M_y v průvlaku uloženém v kolmém směru.

K desce je průvlak připojen jako žebro. Spojení pomocí žeber bylo zvoleno, protože při spojení desky a průvlaku pouze pomocí vnitřní hrany na desce se výsledné vnitřní síly zdály být nereálné (příliš malé).



Obrázek 5.19 - Model průvlaků



Obrázek 5.20 - Označení průvlaků

5.2.2.2 Výsledné vnitřní síly na průvlacích

V průvlacích se zkoumají ohybové momenty a posouvající síly. V průvlaku P1 a P2 navíc působí kroutící moment, který kvůli své velikosti nelze zanedbat. Kroutící momenty

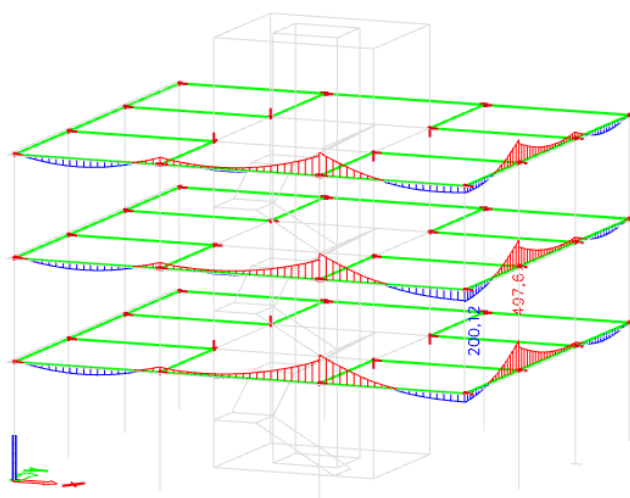
v ostatních průvlacích jsou oproti těmto momentům zanedbatelné a proto není nutné tyto prvky posuzovat na kroucení.

Průvlaky se rozdělili do tří skupin podle toho, jaké vnitřní síly v nich působí. Vyztužení prvků se navrhlo jednotné pro celou skupinu podle maximálních vnitřních sil, které na prvcích vznikly. V *tabulce 5.3* je vidět rozdělení do jednotlivých skupin (podle barev) i hodnoty vnitřních sil.

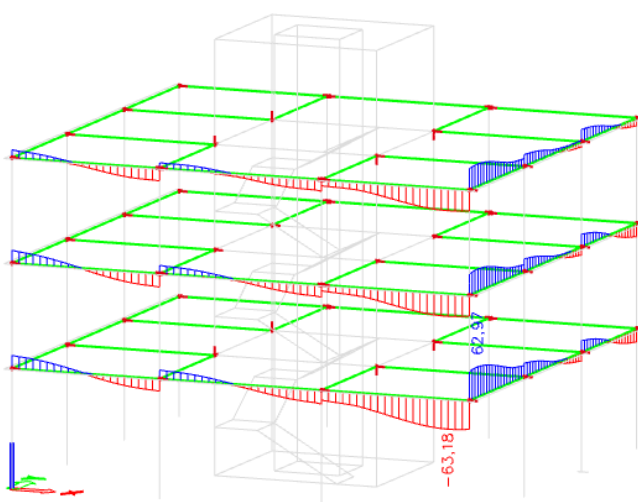
číslo průvlaku	podlaží	vnitřní síly				max. síly ze všech podlažích			
		M_{Ed}^+ [kN/m]	M_{Ed}^- [kN/m]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed}^+ [kN/m]	M_{Ed}^+ [kN/m]	M_{Ed}^- [kN/m]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed}^+ [kN/m]
P1	1NP	140,09	480,41	243,73	-63,18	181,01	480,41	243,73	63,18
	2NP	181,01	440,69	240,26	-47,34				
	3NP	132,51	392,05	233,85	-46,85				
P2	1NP	151,62	497,67	-254,68	63,97	200,12	497,67	254,68	63,97
	2NP	200,12	447,04	-251,06	47,33				
	3NP	121,39	386,35	-236,00	46,73				
P3	1NP	50,64	79,19	99,58	-	60,74	89,21	116,30	-
	2NP	48,15	75,97	-94,92	-				
	3NP	60,74	89,21	116,30	-				
P4	1NP	44,64	65,09	-98,98	-	53,75	70,12	111,58	-
	2NP	42,15	61,03	-93,77	-				
	3NP	53,75	70,12	-111,58	-				
P5	1NP	65,48	50,09	-114,10	-	69,49	64,85	147,47	-
	2NP	63,79	56,70	-144,74	-				
	3NP	69,49	64,85	-147,47	-				
P6	1NP	60,14	55,03	-119,84	-	64,96	74,08	144,35	-
	2NP	61,33	65,05	-133,17	-				
	3NP	64,96	74,08	-144,35	-				
P7	1NP	69,39	53,18	127,06	-	73,56	70,99	143,15	-
	2NP	69,22	64,27	136,13	-				
	3NP	73,56	70,99	143,15	-				
P8	1NP	74,93	52,91	128,85	-	74,95	71,87	137,23	-
	2NP	72,93	58,69	132,81	-				
	3NP	74,95	71,87	137,23	-				
P9	1NP	64,18	52,81	124,51	-	66,47	65,90	135,67	-
	2NP	62,46	57,49	129,11	-				
	3NP	66,47	65,90	135,67	-				
P10	1NP	66,16	55,01	142,68	-	69,55	64,57	148,08	-
	2NP	64,64	60,16	146,52	-				
	3NP	69,55	64,57	148,08	-				
P11	1NP	80,69	64,42	-141,53	-	80,69	68,75	145,39	-
	2NP	78,75	68,51	-145,39	-				
	3NP	78,68	68,75	-143,99	-				
P12	1NP	80,19	61,16	-140,86	-	80,19	66,07	144,14	-
	2NP	78,17	64,52	-144,14	-				
	3NP	77,77	66,07	-143,24	-				

Tabulka 5.3 - Vnitřní síly v průvlacích

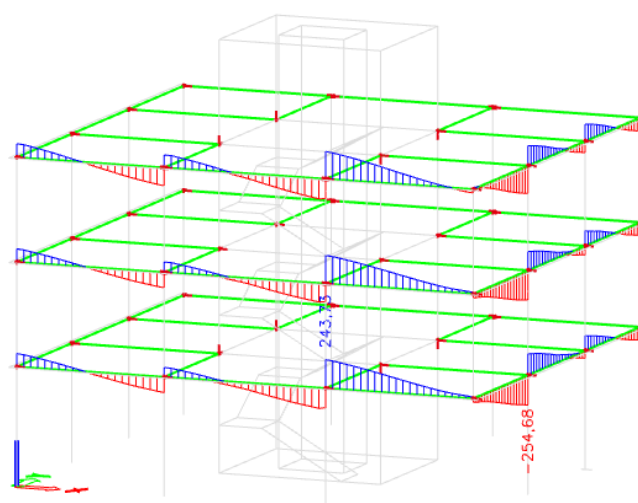
Skupina průvlaků č.1 (P1, P2)



Obrázek 5.21 - Ohybové momenty

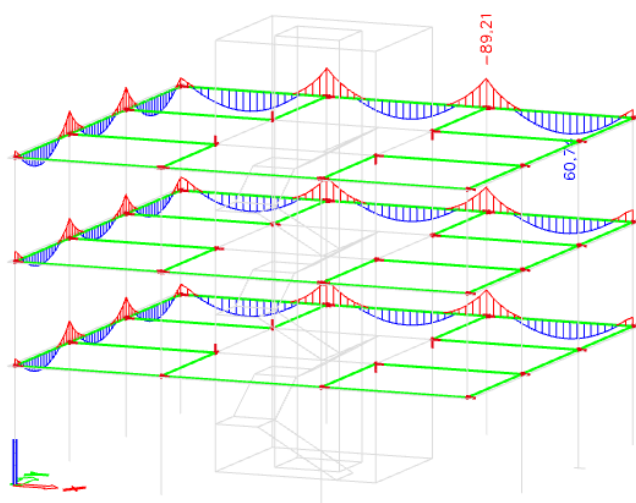


Obrázek 5.22 - Krutící momenty

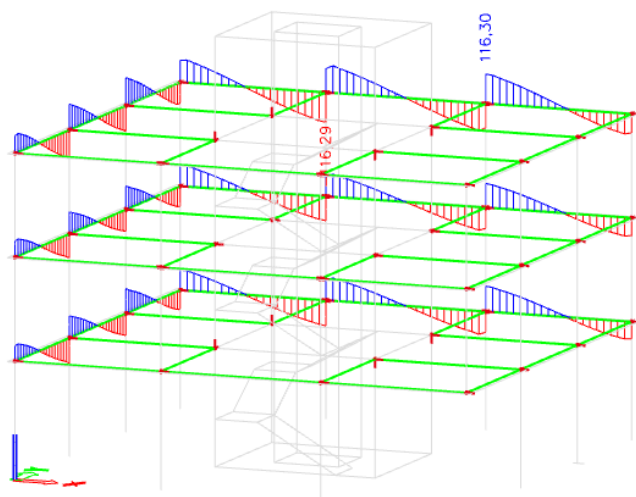


Obrázek 5.23 - Posouvající síly

Skupina průvlaků č. 2 (P3, P4)

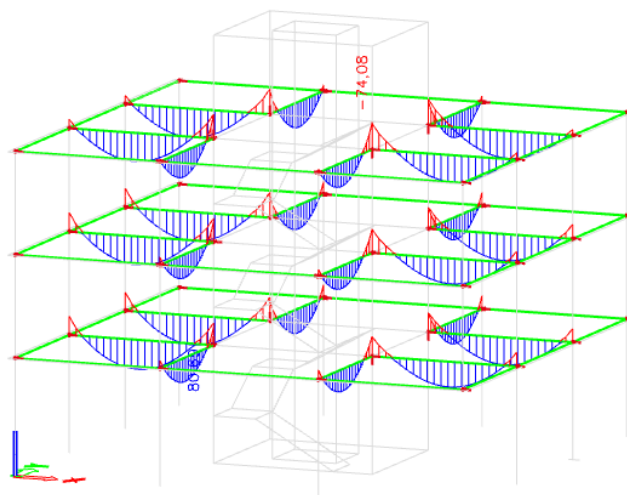


Obrázek 5.24 - Ohybové momenty

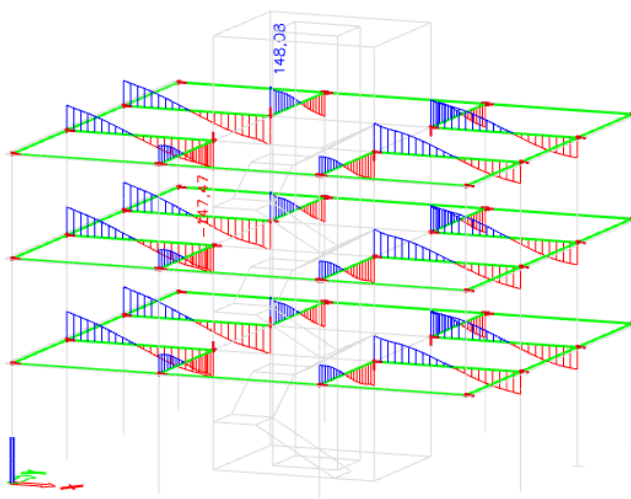


Obrázek 5.25 - Posouvající síly

Skupina průvlaků č. 3 (P5 - P12)



Obrázek 5.26 - Ohybové momenty



Obrázek 5.27 - Posouvající síly

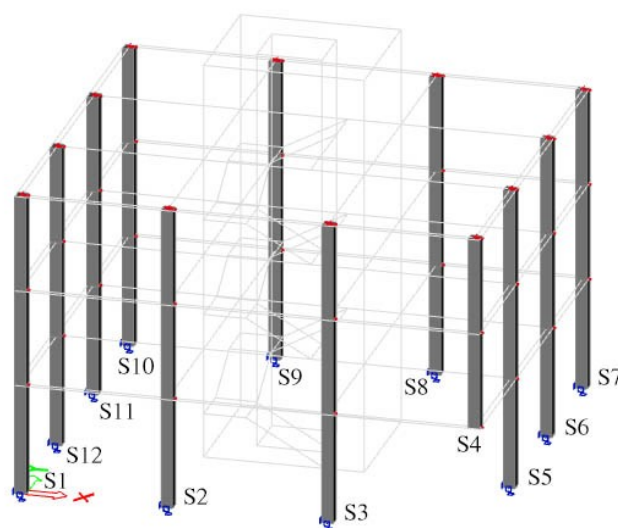
5.2.3 Sloupy

5.2.3.1 Model sloupů

Svislé nosné konstrukce byly vytvořeny prvkem *sloup (100)*, který je stejně jako prvek *nosník (80)* jednorozměrný.

Sloupy nejsou modelovány průběžně přes celou výšku budovy, nýbrž jako samostatné prvky na výšku podlaží. V patě a hlavě sloupu jsou generovány koncové uzly, ve kterých se setkávají nejenom sloupy mezi sebou, ale také to jsou místa styku s průvlaky a deskami. Generované uzly zajistí propojení jednotlivých prvků a spolehlivý přenos vnitřních sil.

V patě sloupu je zadána pevná podpora, která brání posunutí a pootočení ve všech směrech.



Obrázek 5.28 - Model sloupů a jejich označení

5.2.3.2 Výsledné vnitřní síly na sloupech

Sloupy se navrhují na kombinaci ohybového momentu a normálové síly. V tomto případě bylo nutné najít maximální ohybový moment (ve směrech osy y a z) a příslušnou normálovou sílu a maximální normálovou sílu a k ní příslušný ohybový moment.

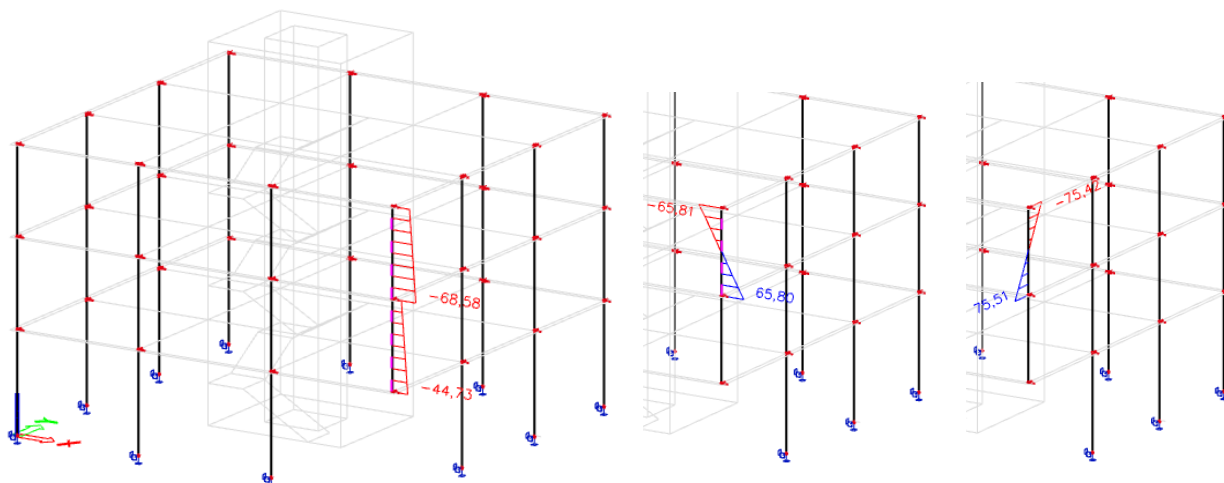
Sloupy byly rozděleny do čtyř skupin podle toho, jaké vnitřní síly na nich vycházely. Výztuž byla poté navržena jednotná pro celou skupinu podle největších vnitřních sil, které na prvcích vznikaly. Barevné rozdělení do skupin je vidět v *tabulce 5.4*.

číslo sloupu	vnitřní síly		
	N_{Ed} [kN]	$M_{y,Ed}$ [kN/m]	$M_{z,Ed}$ [kN/m]
S1	-628,99	-29,41	36,92
S2	-994,93	-10,27	-32,29
S3	-1560,06	59,87	-18,45
S4	-68,58	81,87	93,35
S5	-1586,16	-25,73	63,41
S6	-939,94	-41,41	-9,85
S7	-621,54	42,87	-24,52
S8	-981,88	-10,61	29,03
S9	-984,94	-9,36	29,46
S10	-572,45	-39,60	-35,86
S11	-975,16	39,52	8,27
S12	-978,47	39,35	-7,79

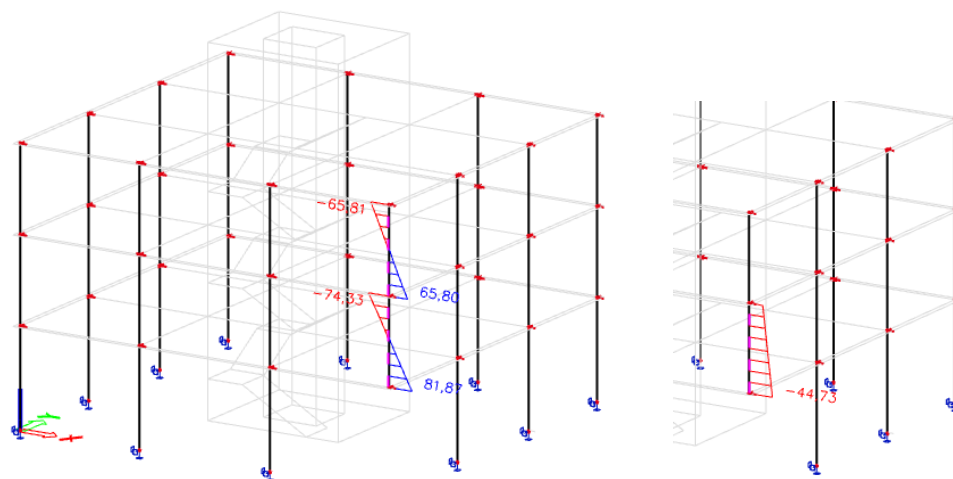
skupina sloupů	číslo sloupů
1	S4
2	S3, S5
3	S1, S7, S10
4	S2, S6, S8, S9, S11, S12

Tabulka 5.4 - Vnitřní síly na sloupech a rozdělení do skupin

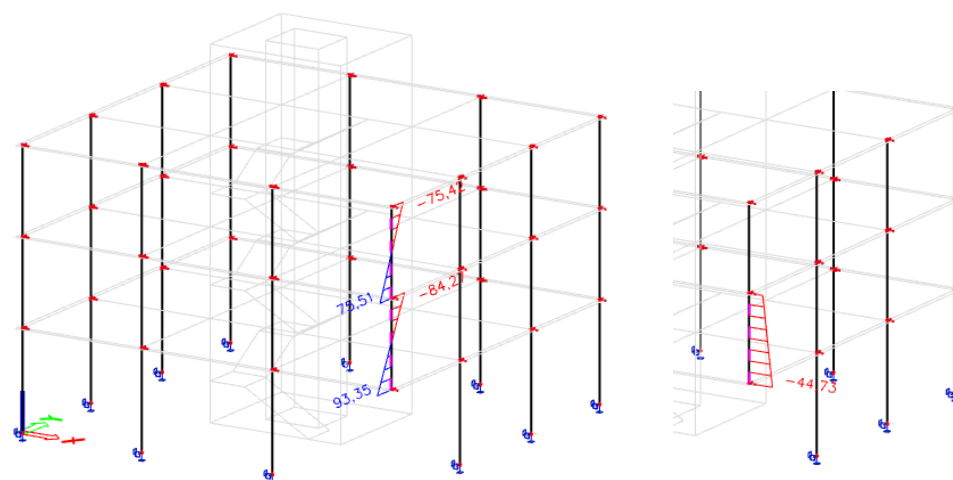
Skupina sloupů č. 1 (S4)



Obrázek 5.29 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z

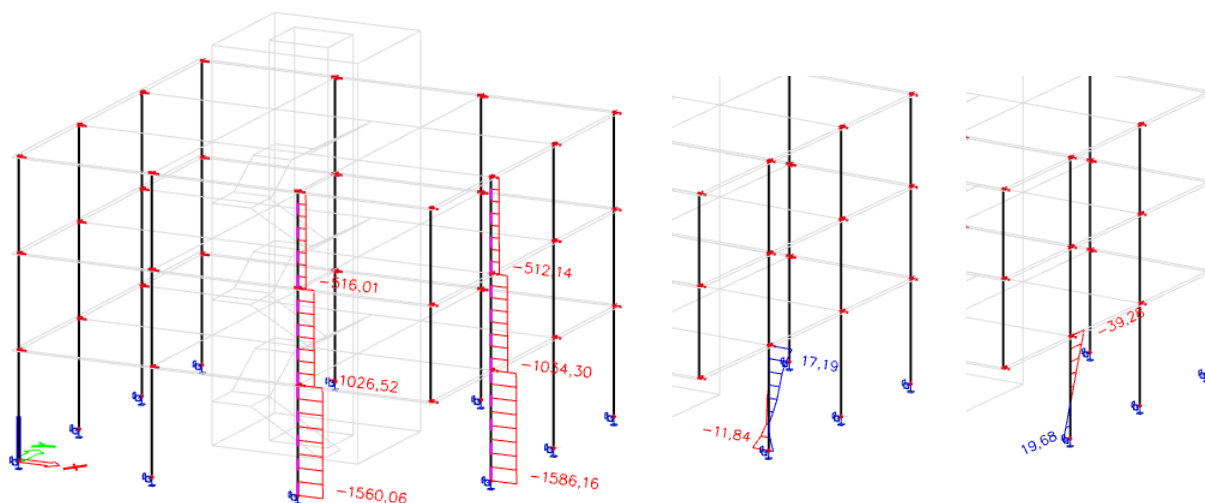


Obrázek 5.30 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla

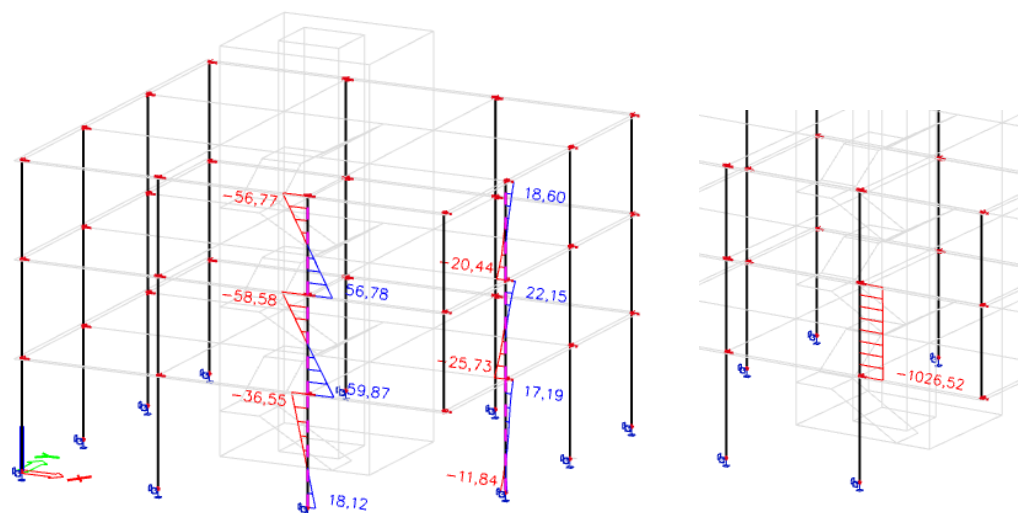


Obrázek 5.31 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla

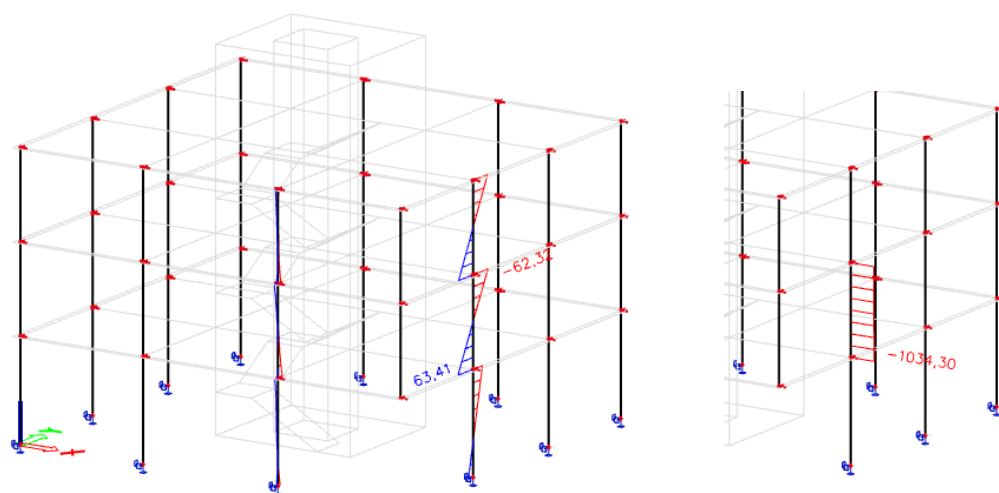
Skupina sloupů č. 2 (S3, S5)



Obrázek 5.32 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z

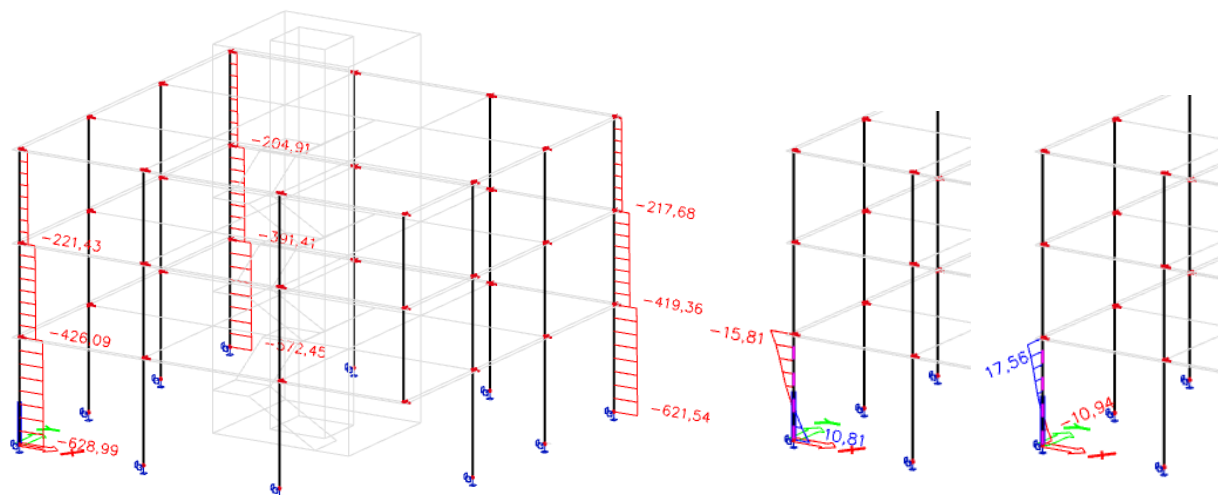


Obrázek 5.33 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla

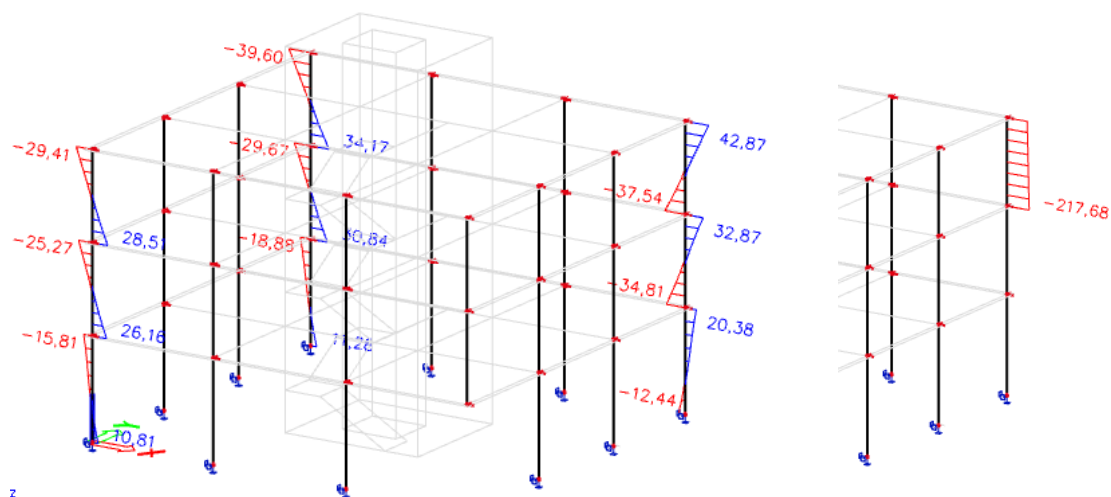


Obrázek 5.34 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla

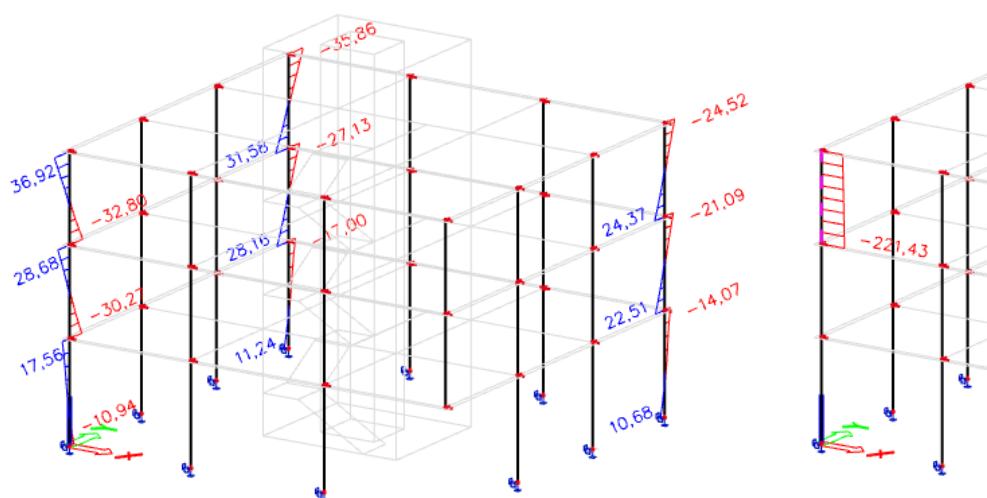
Skupina sloupů č. 3 (S1, S7, S10)



Obrázek 5.35 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z

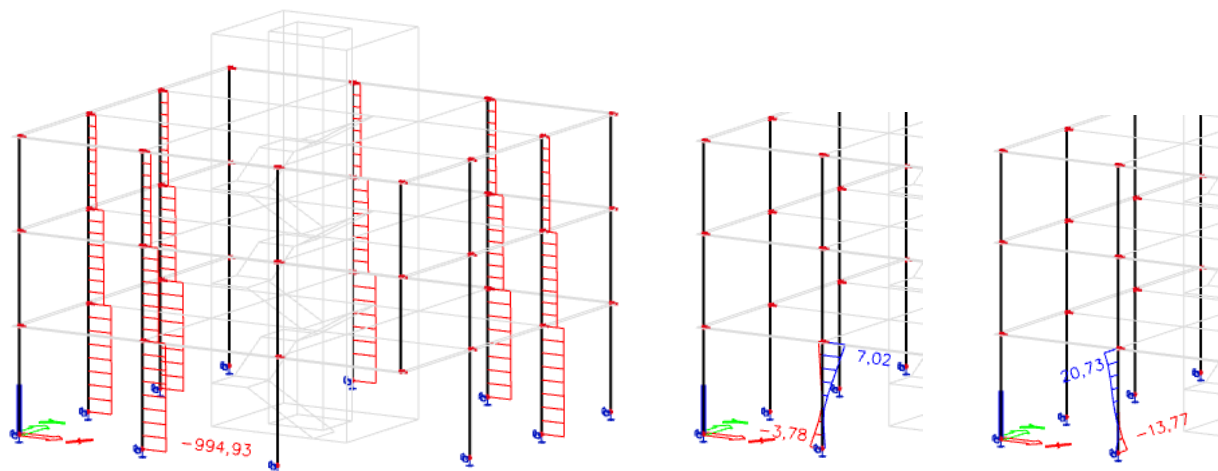


Obrázek 5.36 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla

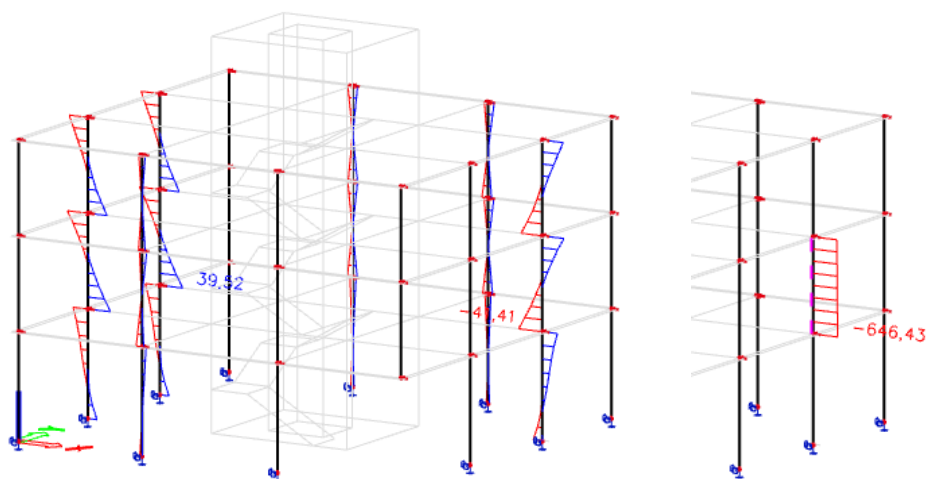


Obrázek 5.37 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla

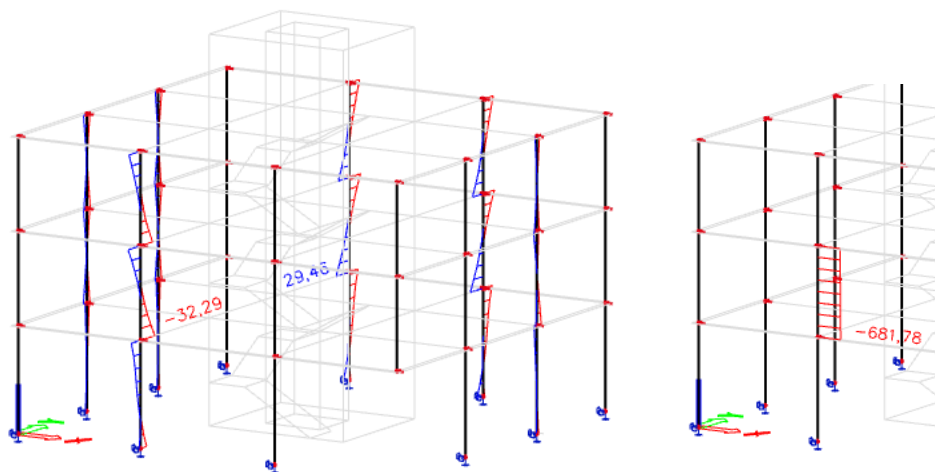
Skupina sloupů č. 4 (S2, S6, S8, S9, S11, S12)



Obrázek 5.38 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z



Obrázek 5.39 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla



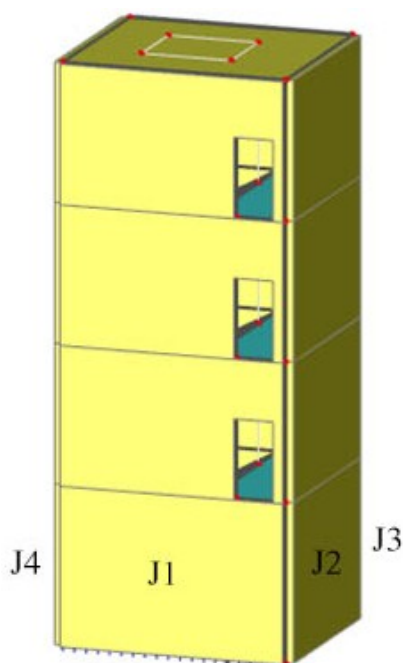
Obrázek 5.40 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla

5.2.4 Ztužující jádro

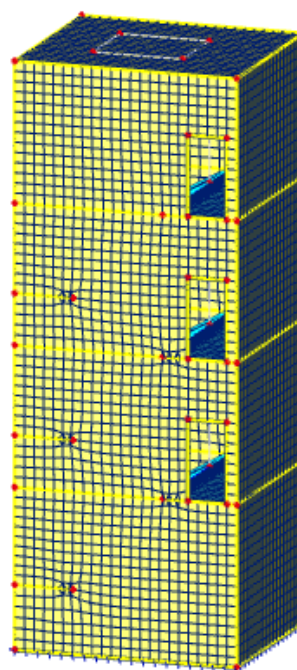
5.2.4.1 Model stěn jádra

Svislé plošné nosné konstrukce, které tvoří stěny komunikačního jádra, jsou vymodelovány pomocí prvku *stěna* (80). Jejich tloušťka činí 200 mm a je konstantní po celé výšce. Tento prvek je v některých ohledech stejný jako prvek *deska* (90) - je izotropní a zadán dvourozměrně.

Ve stěnách jsou vymodelované otvory v místech, kde jsou situovány vstupy do komunikačního jádra. Dolní hrany stěn, které jsou umístěny v prvním nadzemním podlaží, jsou uvažovány jako vetknuté pomocí pevné podpory.



Obrázek 5.41 - Model jádra a označení stěn



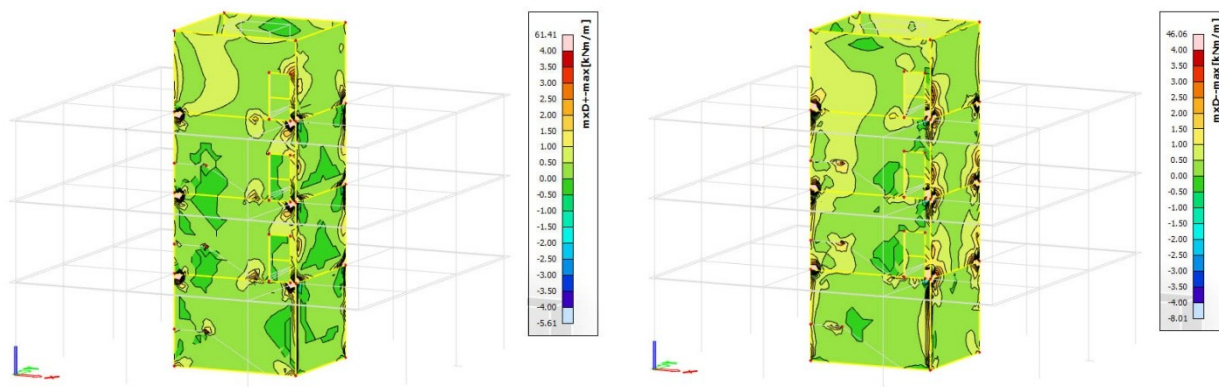
Obrázek 5.42 - Síť vygenerovaná na jádru

5.2.4.2 Výsledné vnitřní síly ve stěnách

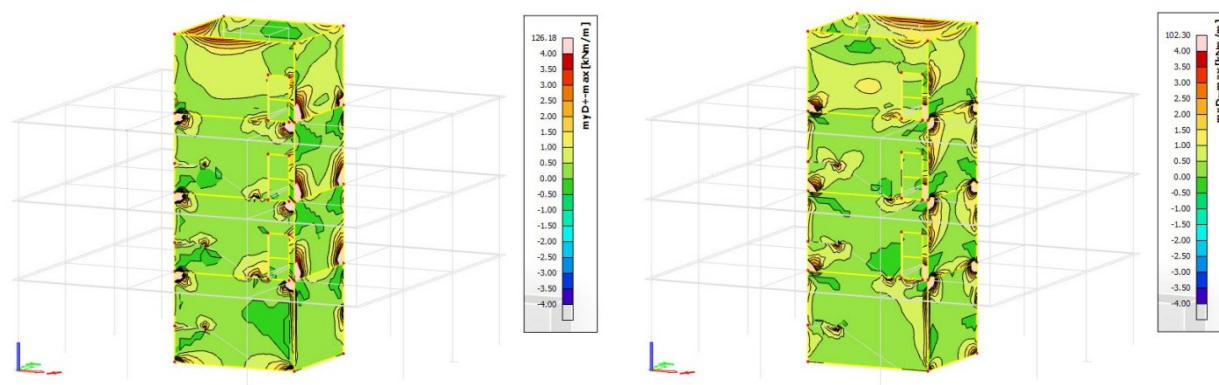
Ve ztužujícím jádru se posuzují maximální ohybové momenty a normálové síly ve směru x a y (vodorovný a svislý směr). Stejně jako v případě stropních desek se hledaly maximální návrhové (dimenzační) veličiny.

$m_{ED,x}^+$ [kNm/m]	$m_{ED,x}^-$ [kNm/m]	$m_{ED,y}^+$ [kNm/m]	$m_{ED,y}^-$ [kNm/m]	$n_{x,Ed}$ [kN/m]	$n_{y,Ed}$ [kN/m]
3,64	2,97	5,96	2,27	-112,91	-82,25

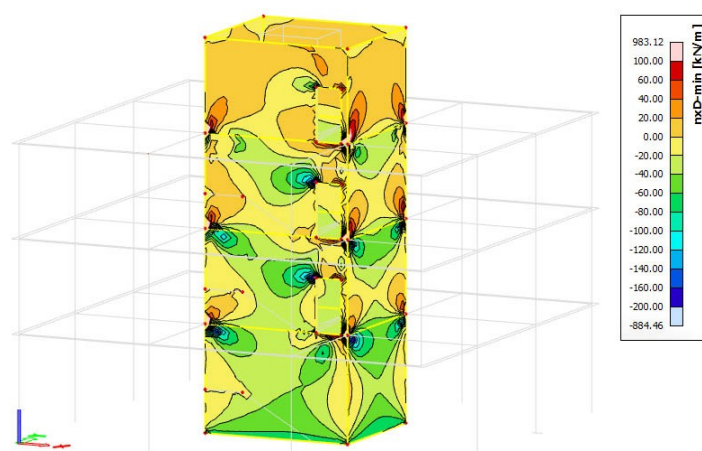
Tabulka 5.5 - Vnitřní síly ve stěně



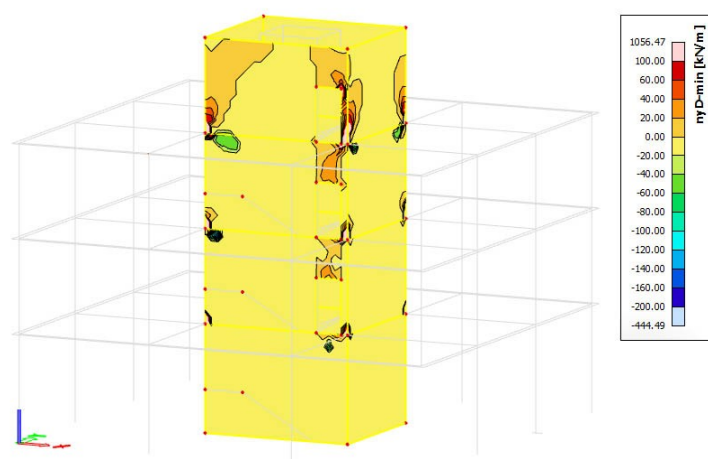
Obrázek 5.43 - Ohybové momenty ve směru x



Obrázek 5.44 - Ohybové momenty ve směru y



Obrázek 5.45 - Normálové síly ve směru x



Obrázek 5.46 - Normálové síly ve směru y

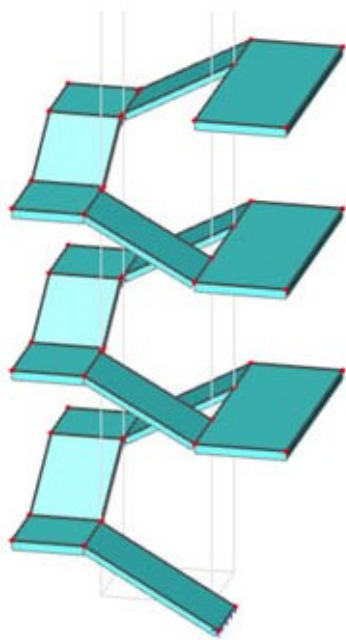
5.2.5 Schodiště

5.2.5.1 Model schodiště

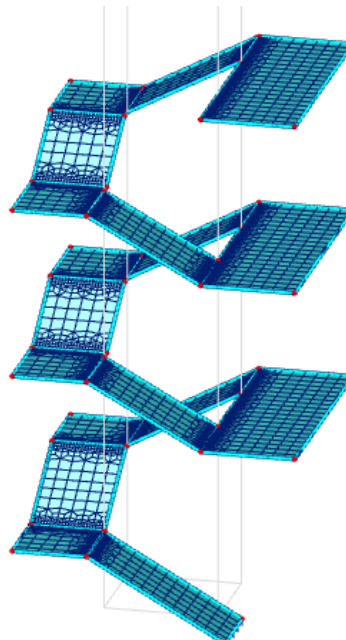
Schodiště je vymodelováno pomocí vodorovných a šikmých desek - je použit prvek *deska (90)*, stejně jako v případě stropních a střešních desek. U šikmých ramen se vymodelovala pouze nosná deska tloušťky 200 mm bez jednotlivých stupňů, jejichž tíha byla do modelu přidána ve formě stálého zatížení. Tloušťka podest a mezipodest je 200 mm.

Při modelování byl brán v potaz fakt, že schodiště má působit jako deskové schodiště - schodišťové ramena jsou tudíž podporována podestami, které jsou vetknuté do komunikačního jádra. V místě, kde se schodišťové podesty stýkají se stěnami jádra je vygenerován průnik, který zajišťuje, že se vnitřní síly přenesou z desek do stěn. U dolní hrany spodního šikmého ramene v prvním podlaží je zadána pevná podpora stejných parametrů jako u ostatních výše zmíněných prvků.

Velikost konečných prvků sítě byla zvolena 0,25 m - stejně jako u ostatních konstrukcí, nicméně kolem hrany, ve které se desky spojují, byla síť zjemněna na velikost 0,05 x 0,05 m.



Obrázek 5.47 - Model schodiště



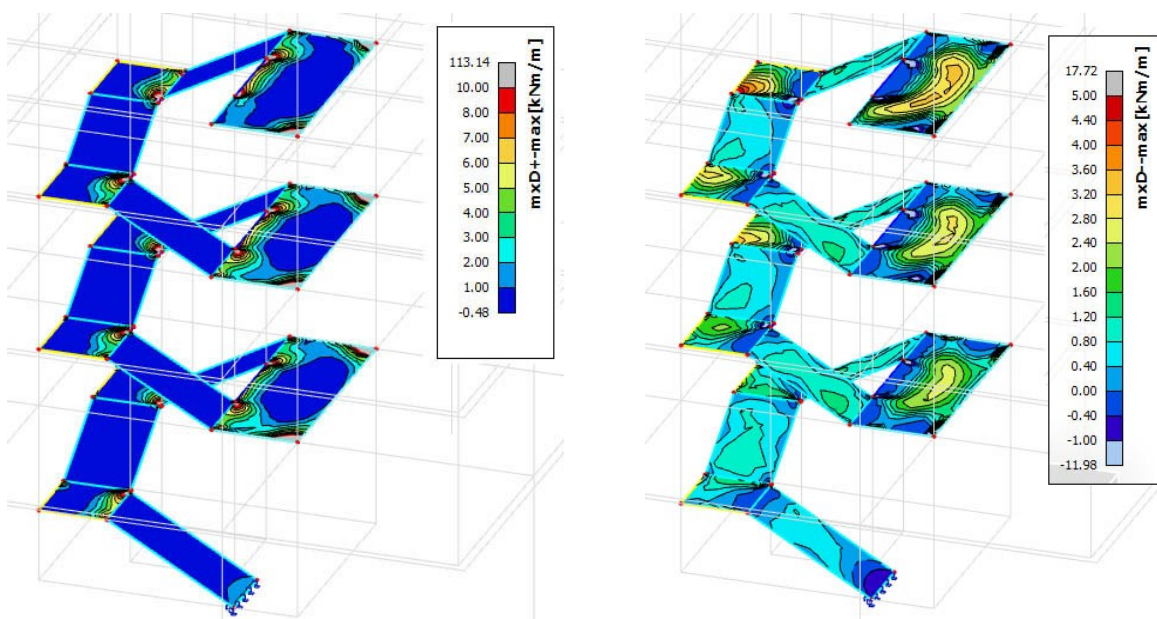
Obrázek 5.48 - Síť generovaná na schodišti

5.2.5.2 Výsledné vnitřní síly na deskách schodiště

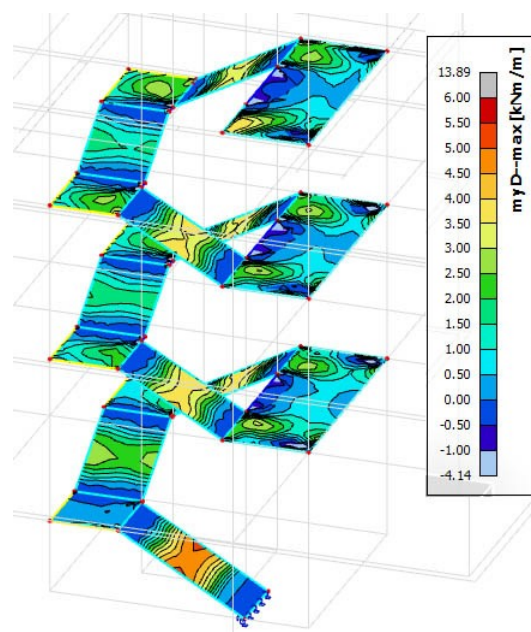
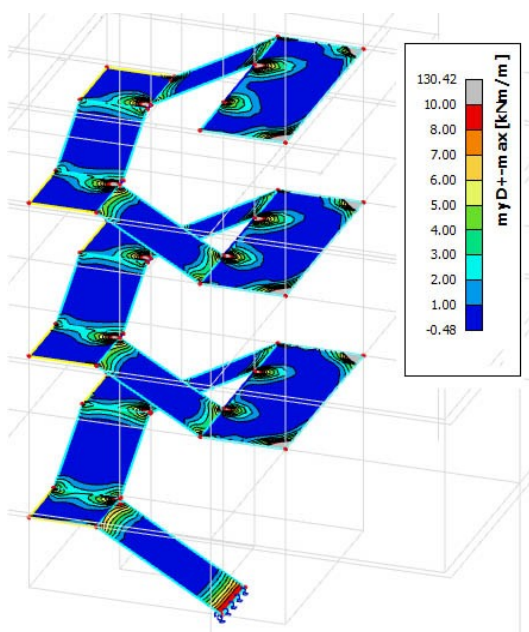
U schodiště se navrhuje výztuž na ohybové momenty ve směru x a y. Pro posouzení byla, stejně jako u stropních desek, použita hodnota dimenzačních momentů, které v sobě zahrnují vliv ohybového i krouťícího momentu.

část schodiště	$m_{ED,x}^+$ [kNm/m]	$m_{ED,x}^-$ [kNm/m]	$m_{ED,y}^+$ [kNm/m]	$m_{ED,y}^-$ [kNm/m]
nástupní rameno	2,09	1,30	10,39	4,89
rameno mezi mezipodestami	0,40	1,10	3,61	2,46
výstupní rameno	0,43	1,11	5,45	3,56
mezipodesta	1,16	2,59	3,19	2,74
podesta	4,72	3,25	2,42	2,28

Tabulka 5.6 - Vnitřní síly ve schodišti



Obrázek 5.49 - Ohybové momenty ve směru x



Obrázek 5.50 - Ohybové momenty ve směru y

6 POSOUZENÍ NOSNÝCH PRVKŮ

Návrh a posouzení železobetonových prvků se provedlo v souladu s normou ČSN EN 1992 [13].

Materiálové charakteristiky

Beton

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dnů
$\gamma_c = 1,5$	dílčí součinitel betonu
$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
$f_{ctk,0,05} = 2,0 \text{ MPa}$	charakteristická pevnost betonu v tahu (5% kvantil)
$\alpha_{ct} = 1,0$	součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na pevnost v tahu
$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}/\gamma_c = 1,0 \cdot 2,0/1,5 = 1,33 \text{ MPa}$	návrh. hodnota pevnosti betonu v tahu
$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$	sečnový modul pružnosti betonu
$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$	poměrné přetvoření při dosažení maximální pevnosti
$\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$	mezí poměrné přetvoření stlačení betonu
$\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$	poměrné přetvoření betonu
$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$	mezí poměrné přetvoření betonu

Ocel

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
$\gamma_s = 1,15$	dílčí součinitel betonářské oceli
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
$E_s = 210 \text{ GPa}$	návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli
$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 434,78/210 = 2,07 \text{ ‰}$	poměrné přetvoření oceli

třída prostředí: XC1 (suché)

třída konstrukce: S4 (návrhová životnost 50 let)

6.1 DESKA D1, D2, D3

6.1.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

$$m_{Ed,x}^+ = 26,38 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x}^- = 26,97 \text{ kNm/m}$$

$$m_{ext,x}^- = 70,14 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y}^+ = 21,49 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y}^- = 22,89 \text{ kNm/m}$$

$$m_{ext,y}^- = 64,08 \text{ kNm/m}$$

Geometrie

$$b = 1,0 \text{ m}$$

šířka desky

$$h = 0,2 \text{ m}$$

tloušťka desky

$$l_{x,max} = 5,7 \text{ m}$$

max. délka desky, směr x

$$l_{y,max} = 5,0 \text{ m}$$

max. délka desky, směr y

6.1.1.1 Návrh a posouzení dolní ohybové výztuže (směr x)

Návrh výztuže

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

průměr výztuže

$$s = 200 \text{ mm}$$

osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton

$$c_{min,b} = \emptyset = 10 \text{ mm}$$

min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$$

přídavná bezpečnostní složka

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$$

minimální

krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

krycí vrstva

Posouzení výztuže

$$\begin{aligned}d &= h - c_{nom} - \phi/2 = 200 - 25 - 10/2 = 170 \text{ mm} && \text{účinná výška průřezu} \\A_s &= \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 392,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 && \text{plocha tahové výztuže} \\F_s &= A_s \cdot f_{yd} = 392,70 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 170,74 \text{ kN} && \text{síla, kterou přenesou výztuže} \\x &= \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{170,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0107 \text{ m} && \text{výška tlačené oblasti} \\m_{Rd} &= F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 170,74 \cdot (0,170 - 0,4 \cdot 0,0107) = 28,30 \text{ kNm/m} \\m_{Ed} &= 26,38 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 28,30 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE} && \text{únosnost průřezu}\end{aligned}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned}A_{s,max} &= 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1,0 = 0,008 \text{ m}^2 && \text{maximální plocha výztuže} \\A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d \right\} = \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,9/500}{1,0} \cdot 1,0 \cdot 0,170; 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,170 \right\} = 0,00026 \text{ m}^2 \\&&& \text{minimální plocha výztuže} \\A_{s,min} &= 0,00026 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,00039 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{x}{d} = \frac{0,0107}{0,170} = 0,063 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \\&&& \xi \dots \text{součinitel charakterizující poměrnou výšku tlačené oblasti} \\&&& \xi_{lim} \dots \text{poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži}\end{aligned}$$

Vzdálenost výztuže

$$\begin{aligned}s_{max} &= \min\{2 \cdot h; 250\} = \min\{2 \cdot 200; 250\} = 250 \text{ mm} \geq s = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \\k_1 &= 1,2 && \text{max. osová vzdálenost výztuže} \\k_2 &= 5 \text{ mm} \\d_g &= 16 \text{ mm} && \text{max. velikost zrna kameniva} \\s_{min} &= \max\{k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm} \\&&& \text{min. světlá vzdálenost mezi pruty} \\s_{min} &= 21 \text{ mm} \leq s_{světla} = s - \phi = 200 - 10 = 190 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Kotevní délka

$\eta_1 = 1,0$ součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.

$\eta_2 = 1,0$ součinitel závislý na průměru prutu, pro $\varnothing \leq 32 \text{ mm}$

$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$ mezní napětí v soudržnosti

$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$ návrhové napětí v prutu v místě ukotvení

$l_{bd,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362,3 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm}$ zákl. požadovaná kotevní délka

$\alpha_1 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut

$\alpha_2 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy

$\alpha_3 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží

$\alpha_4 = 0,7$ součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů

$\alpha_5 = 1,0$ součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu

$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$

návrhová kotevní délka

$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$

minimální kotevní délka

$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 260 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

6.1.1.2 Návrh a posouzení dolní ohybové výztuže (směr y)

Návrh výztuže

$\varnothing = 10 \text{ mm}$ průměr výztuže

$s = 200 \text{ mm}$ osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton

$c_{min,b} = \varnothing = 10 \text{ mm}$ min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti

$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$ min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1

$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$ přídavná bezpečnostní složka

$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$ redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Posouzení výztuže

$$d = h - c_{nom} - \phi/2 - \phi_{x+} = 200 - 25 - 10/2 - 10 = 160 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 392,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{plocha tahové výztuže}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 392,70 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 170,74 \text{ kN} \quad \text{síla, kterou přenesou výztuže}$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{170,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0107 \text{ m} \quad \text{výška tlačené oblasti}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 170,74 \cdot (0,160 - 0,4 \cdot 0,0107) = 26,59 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed} = 21,49 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 26,59 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1,0 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \max\left\{\frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d\right\} = \left\{\frac{0,26 \cdot 2,9/500}{f_{yk}} \cdot 1,0 \cdot 0,160; 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,160\right\} = 0,00024 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,00024 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,00039 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0107}{0,158} = 0,068 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250\} = \min\{2 \cdot 200; 250\} = 250 \text{ mm} \geq s = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$k_1 = 1,2 \quad k_2 = 5 \text{ mm} \quad d_g = 16 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{světla} = s - \phi = 200 - 10 = 190 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = \eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362,3 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 0,7$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 260 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.1.1.3 Návrh a posouzení horní ohybové výztuže (směr x)

Návrh výztuže

Hlavní výztuž

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

Příložky

$$\emptyset_p = 14 \text{ mm}$$

$$s_p = 200 \text{ mm}$$

průměr výztuže

osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton

$$c_{min,b} = \emptyset = 10 \text{ mm}$$

min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$$

přídavná bezpečnostní složka

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Posouzení výztuže

Hlavní výztuž

$$\begin{aligned}d &= h - c_{nom} - \phi/2 = 200 - 25 - 10/2 = 170 \text{ mm} && \text{účinná výška průřezu} \\A_s &= \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 392,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 && \text{plocha tahové výztuže} \\F_s &= A_s \cdot f_{yd} = 392,70 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 170,74 \text{ kN} && \text{síla, kterou přenesou výztuž} \\x &= \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{170,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0107 \text{ m} && \text{výška tlačené oblasti} \\m_{Rd} &= F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 170,74 \cdot (0,17 - 0,4 \cdot 0,0107) = 28,30 \text{ kNm/m} \\m_{Ed} &= 26,97 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 28,30 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Příložky

$$\begin{aligned}d &= h - c_{nom} - \phi_p/2 = 200 - 25 - 14/2 = 168 \text{ mm} && \text{účinná výška průřezu} \\A_s &= \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} + \frac{1}{s_p} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} + \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,014^2}{4} = 1162,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 && \text{plocha výztuže} \\F_s &= A_s \cdot f_{yd} = 1162,39 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 505,39 \text{ kN} && \text{síla, kterou přenesou výztuž} \\x &= \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{505,39 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0316 \text{ m} && \text{výška tlačené oblasti} \\m_{Rd} &= F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 505,39 \cdot (0,168 - 0,4 \cdot 0,0316) = 78,52 \text{ kNm/m} \\m_{ext} &= 70,14 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 78,52 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned}A_{s,max} &= 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1,0 = 0,008 \text{ m}^2 \\A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d, 0,0013 \cdot b \cdot d \right\} = \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,9/500}{0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,17} \right\} = 0,00026 \text{ m}^2 \\A_{s,min} &= 0,00026 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,00039 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \\A_{s,min} &= 0,00026 \text{ m}^2 \leq A_{s,p} = 0,001162 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0107}{0,170} = 0,063 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi_p = \frac{x_p}{d_p} = \frac{0,0316}{0,168} = 0,188 \leq \xi_{lim} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250\} = \min\{2 \cdot 200; 250\} = 250 \text{ mm} \geq s = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{max} = 250 \text{ mm} \geq s_p = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$k_1 = 1,2 \quad k_2 = 5 \text{ mm} \quad d_g = 16 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{světla} = s - \emptyset = 200 - 10 = 190 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{světla,p} = s_p - \emptyset_p = 200 - 14 = 186 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka - hlavní výztuž

$$\eta_1 = \eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362,3 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 0,7$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 260 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka - příložky

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 507,2 \text{ mm} \doteq 510 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 510 = 357 \text{ mm} \doteq 360 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 510; 10 \cdot 14; 100\} = 153 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 153 \text{ mm} \leq l_{bd} = 360 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.1.1.4 Návrh a posouzení horní ohybové výztuže (směr y)

Návrh výztuže

Hlavní výztuž

$$\varnothing = 10 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

Příložky

$$\varnothing_p = 14 \text{ mm}$$

$$s_p = 200 \text{ mm}$$

průměr výztuže

osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton

$$c_{min,b} = \varnothing = 10 \text{ mm}$$

min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1

$$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$$

přídavná bezpečnostní složka

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Posouzení výztuže

Hlavní výztuž

$$d = h - c_{nom} - \varnothing/2 - \varnothing_x = 200 - 25 - 10/2 - 10 = 160 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 392,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{plocha tahové výztuže}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 392,70 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 170,74 \text{ kN} \quad \text{síla, kterou přenesou výztuže}$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{170,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0107 \text{ m} \quad \text{výška tlačené oblasti}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 170,74 \cdot (0,160 - 0,4 \cdot 0,0107) = 26,59 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed} = 22,89 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 26,59 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Příložky

$$d = h - c_{nom} - \varnothing_p/2 - \varnothing_{x,p} = 200 - 25 - 14/2 - 14 = 154 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} + \frac{1}{s_p} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_p^2}{4} = \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} + \frac{1}{0,2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,014^2}{4} = 1162,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ plocha tah. výztuže}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1162,39 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 505,39 \text{ kN} \quad \text{síla, kterou přenese výztuž}$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{505,39 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0316 \text{ m} \quad \text{výška tlačené oblasti}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 505,39 \cdot (0,154 - 0,4 \cdot 0,0316) = 71,44 \text{ kNm/m}$$

$$m_{ext} = 64,08 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 71,44 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1,0 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d, 0,0013 \cdot b \cdot d \right\} = \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,9/500}{f_{yk}} \cdot 1,0 \cdot 0,16, 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,16 \right\} = 0,00024 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,00024 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,00039 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,min} = 0,00024 \text{ m}^2 \leq A_{s,p} = 0,001162 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0107}{0,160} = 0,067 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi_p = \frac{x_p}{d_p} = \frac{0,0316}{0,154} = 0,205 \leq \xi_{lim} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250\} = \min\{2 \cdot 200; 250\} = 250 \text{ mm} \geq s = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{max} = 250 \text{ mm} \geq s_p = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$k_1 = 1,2 \quad k_2 = 5 \text{ mm} \quad d_g = 16 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{světla} = s - \emptyset = 200 - 10 = 190 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{světla,p} = s_p - \emptyset_p = 200 - 14 = 186 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka - hlavní výztuž

$$\eta_1 = \eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362,3 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 0,7$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 260 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka - příložky

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 507,2 \text{ mm} \doteq 510 \text{ mm}$$

$$l_{bd,p} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 510 = 357 \text{ mm} \doteq 360 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 510; 10 \cdot 14; 100\} = 153 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 153 \text{ mm} \leq l_{bd,p} = 360 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.1.2 Mezní stav použitelnosti

6.1.2.1 Omezení napětí

Směr x

Účinky zatížení

$m_{char} = 18,77 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci

$m_{kqp} = 13,32 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci

Ideální průřez bez trhlin

$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 210/32 = 6,563$ poměr modulů pružnosti

$A_s = 0,000393 \text{ m}^2$ plocha dolní výztuže ve směru x

$d = 0,170 \text{ m}$ účinná výška průřezu

$A_i = b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot A_s = 1,0 \cdot 0,2 + (6,563 - 1) \cdot 0,000393 = 0,202184 \text{ m}^2$

plocha ideálního průřezu

$$a_{gi} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot d}{A_i} = \frac{0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,2^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,000393 \cdot 0,170}{0,202184} = 0,1007 \text{ m}$$

vzdálenost neutrálné osy ideálního průřezu

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (a_{gi} - 0,5 \cdot h)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2 = \frac{1,0 \cdot 0,2^3}{12} + 1,0 \cdot 0,2 \cdot (0,1007 - 0,5 \cdot 0,2)^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,000393 \cdot (0,170 - 0,1007)^2 = 0,000677 \text{ m}^4$$

moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$m_{cr} = \frac{I_i \cdot f_{ctm}}{(h - a_{gi})} = \frac{0,000677 \cdot 2,9}{(0,2 - 0,1007)} = 19,79 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 18,77 \text{ kNm/m}$$

→ TRHLINY NEVZNIKNOU

Kontrola napětí

$$\sigma_{c1} = \frac{m_{kqp} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{13,32 \cdot (0,2 - 0,1007)}{0,000677} = 1,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = 1,95 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Směr y

Účinky zatížení

$m_{char} = 15,15 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci

$m_{kqp} = 11,20 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci

Ideální průřez bez trhlin

$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 210/32 = 6,563$ poměr modulů pružnosti

$A_s = 0,000393 \text{ m}^2$ plocha dolní výztuže ve směru y

$d = 0,160 \text{ m}$ účinná výška průřezu

$A_i = b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot A_s = 1,0 \cdot 0,2 + (6,563 - 1) \cdot 0,000393 = 0,202184 \text{ m}^2$

plocha ideálního průřezu

$$a_{gi} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot d}{A_i} = \frac{0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,2^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,000393 \cdot 0,160}{0,202184} = 0,1006 \text{ m}$$

vzdálenost neutrálné osy ideálního průřezu

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (a_{gi} - 0,5 \cdot h)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2 = \frac{1,0 \cdot 0,2^3}{12} + 1,0 \cdot 0,2 \cdot$$

$$\cdot (0,1006 - 0,5 \cdot 0,2)^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,000393 \cdot (0,160 - 0,1006)^2 = 0,000674 \text{ m}^4$$

moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$m_{cr} = \frac{I_i \cdot f_{ctm}}{(h - a_{gi})} = \frac{0,000674 \cdot 2,9}{(0,2 - 0,1006)} = 19,67 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 15,15 \text{ kNm/m}$$

→ TRHLINY NEVZNIKNOU

Kontrola napětí

$$\sigma_{c1} = \frac{m_{kqp} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{11,20 \cdot (0,2 - 0,1006)}{0,000674} = 1,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = 1,65 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.1.2.2 Omezení šířky trhlin

Tato železobetonová deska není namáhána významnou normálovou silou, pouze ohybem. Z tohoto důvodu není nutné provést speciální opatření pro omezení šířky trhlin, protože jsou splněny všechny konstrukční zásady a tloušťka desky nepřekračuje 200 mm.

6.1.2.3 Omezení průhybu

Směr x

$$l_x = 5700 \text{ mm}$$

max. rozpětí desky ve směru x

$$d_{x+} = 170 \text{ mm}$$

účinná výška průřezu (dolní výztuž)

$$A_{s,x+} = 392,70 \text{ mm}^2$$

plocha výztuže (dolní výztuž)

$$K = 1,5$$

koeficient zohledňující konstrukční systém

$$\rho = \frac{A_{s,x+}}{b \cdot d_{x+}} = \frac{392,70}{1000 \cdot 170} = 0,00231 \quad \text{geometrický stupeň vyztužení tah. výztuží}$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 0,00548 \quad \text{referenční stupeň vyztužení}$$

$\rho \leq \rho_0 \rightarrow$ výpočet $\frac{l}{d}$ se provede podle vzorce:

$$\begin{aligned} \left(\frac{l}{d}\right)_{max} &= K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] = \\ &= 1,5 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{0,00548}{0,00231} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{0,00548}{0,00231} - 1\right)^{3/2} \right] = 87,93 \end{aligned}$$

$$\frac{l}{d} = \frac{5700}{170} = 33,53 \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{max} = 87,93 \rightarrow \text{VYHOVUJE, není nutné počítat průhyb}$$

Směr y

$$l_y = 5000 \text{ mm}$$

max. rozpětí desky ve směru y

$$d_{y+} = 160 \text{ mm}$$

účinná výška průřezu (dolní výztuž)

$$A_{s,y+} = 392,70 \text{ mm}^2$$

plocha výztuže (dolní výztuž)

$$K = 1,5$$

koeficient zohledňující konstrukční systém

$$\rho = \frac{A_{s,y+}}{b \cdot d_{y+}} = \frac{392,70}{1000 \cdot 160} = 0,00245 \quad \text{geometrický stupeň vyztužení tah. výztuží}$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 0,00548 \quad \text{referenční stupeň vyztužení}$$

$\rho \leq \rho_0 \rightarrow$ výpočet $\frac{l}{d}$ se provede podle vzorce:

$$\begin{aligned} \left(\frac{l}{d}\right)_{max} &= K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] = \\ &= 1,5 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{0,00548}{0,00245} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{0,00548}{0,00245} - 1\right)^{3/2} \right] = 79,94 \end{aligned}$$

$$\frac{l}{d} = \frac{5000}{160} = 31,25 \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{max} = 79,94 \rightarrow \text{VYHOVUJE, není nutné počítat průhyb}$$

6.2 DESKA D4

Při návrhu a posouzení desky D4 se postupovalo stejně jako v případě desek D1 až D3. Z tohoto důvodu je zde výpočet popsán pouze zkráceně ve formě tabulek.

6.2.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

$$m_{Ed,x}^+ = 7,72 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x}^- = 8,82 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y}^+ = 9,37 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y}^- = 9,22 \text{ kNm/m}$$

Návrh a posouzení výztuže

moment	m_{Ed} [kNm/m]	\emptyset [mm]	s [mm]	c_{nom} [mm]	A_s [mm ²]	F_s [kN]	d [mm]	x [mm]	m_{Rd} [kNm/m]	posouzení
$m_{Ed,x}^+$	7,72	10	250	25	314,16	136,59	160	8,54	21,39	vyhovuje
$m_{Ed,y}^+$	9,37	10	250	25	314,16	136,59	170	8,54	22,75	vyhovuje
$m_{Ed,x}^-$	8,82	10	250	25	314,16	136,59	160	8,54	21,39	vyhovuje
$m_{Ed,y}^-$	9,22	10	250	25	314,16	136,59	170	8,54	22,75	vyhovuje

Tabulka 6.1 - Návrh a posouzení výztuže

Konstrukční zásady

výztuž pro moment	A_s [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]	posouzení	$A_{s,min}$ [mm ²]	posouzení
$m_{Ed,x}^+$	314,16	8000	vyhovuje	241,28	vyhovuje
$m_{Ed,y}^+$	314,16	8000	vyhovuje	256,36	vyhovuje
$m_{Ed,x}^-$	314,16	8000	vyhovuje	241,28	vyhovuje
$m_{Ed,y}^-$	314,16	8000	vyhovuje	256,36	vyhovuje

Tabulka 6.2 - Minimální plocha výztuže

výztuž pro moment	ξ [-]	ξ_{lim} [-]	posouzení
$m_{Ed,x}^+$	0,053	0,617	vyhovuje
$m_{Ed,y}^+$	0,050	0,617	vyhovuje
$m_{Ed,x}^-$	0,053	0,617	vyhovuje
$m_{Ed,y}^-$	0,050	0,617	vyhovuje

Tabulka 6.3 - Omezení výšky tlačené oblasti

výztuž pro moment	s [mm]	s_{max} [mm]	posouzení	$s_{světla}$ [mm]	s_{min} [mm]	posouzení
$m_{Ed,x}^+$	250	250	vyhovuje	240	21	vyhovuje
$m_{Ed,y}^+$	250	250	vyhovuje	240	21	vyhovuje
$m_{Ed,x}^-$	250	250	vyhovuje	240	21	vyhovuje
$m_{Ed,y}^-$	250	250	vyhovuje	240	21	vyhovuje

Tabulka 6.4 - Vzdálenost výztuže

výztuž pro moment	l_{bd} [mm]	$l_{b,min}$ [mm]	posouzení
$m_{Ed,x}^+$	260	111	vyhovuje
$m_{Ed,y}^+$	260	111	vyhovuje
$m_{Ed,x}^-$	260	111	vyhovuje
$m_{Ed,y}^-$	260	111	vyhovuje

Tabulka 6.5 - Kotevní délka

6.2.2 Mezní stav použitelnosti

Účinky zatížení

Směr x

$$m_{char,x} = 2,61 \text{ kNm/m}$$

$$m_{kqp,x} = 2,13 \text{ kNm/m}$$

Směr y

$$m_{char,y} = 2,63 \text{ kNm/m}$$

$$m_{kqp,y} = 2,07 \text{ kNm/m}$$

6.2.2.1 Omezení napětí

	m_{char} [kNm/m]	m_{kqp} [kNm/m]	α_e [-]	A_i [m ²]	a_{gi} [m]	I_i [m ⁴]	m_{cr} [kNm/m]	posouzení
směr x	2,61	2,13	6,563	0,20175	0,1005	0,00067	19,62	bez trhlin
směr y	2,63	2,07	6,563	0,20175	0,1006	0,00068	19,70	bez trhlin

Tabulka 6.6 - Výpočet a posouzení kritického momentu

	σ_c [MPa]	f_{ctm} [MPa]	posouzení
směr x	0,386	2,9	vyhovuje
směr y	0,387	2,9	vyhovuje

Tabulka 6.7 - Omezení napětí

6.2.2.2 Omezení šířky trhlin

Tato železobetonová deska není namáhána významnou normálovou silou, pouze ohybem. Z tohoto důvodu není nutné provést speciální opatření pro omezení šířky trhlin, protože jsou splněny všechny konstrukční zásady a tloušťka desky nepřekračuje 200 mm.

6.2.2.3 Omezení průhybu

	l [mm]	d [mm]	K [-]	ρ [-]	ρ_0 [-]	l/d [-]	$(l/d)_{max}$ [-]	posouzení
směr x	5700	160	1,5	0,00196	0,00548	35,63	113,81	vyhovuje
směr y	5000	170	1,5	0,00185	0,00548	29,41	125,38	vyhovuje

Tabulka 6.8 - Omezení průhybu

6.3 PRŮVLAK P1, P2 (SKUPINA Č. 1)

Geometrie

$b_w = 0,4 \text{ m}$	šířka průvlaku
$h = 1,0 \text{ m}$	výška průvlaku
$l_1 = 4,8 \text{ m}$	délka průvlaku (krajní pole)
$l_2 = 5,3 \text{ m}$	délka průvlaku (střední pole)

6.3.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

$$M_{Ed}^+ = 200,12 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 497,67 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed} = 63,97 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 254,68 \text{ kN}$$

6.3.1.1 Návrh a posouzení dolní ohybové výztuže

Návrh výztuže

$\emptyset = 14 \text{ mm}$	průměr výztuže
$n = 4 \text{ ks}$	počet kusů

Krytí výztuže

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$	přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton
$c_{min,b} = \emptyset = 14 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1
$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$	přídavná bezpečnostní složka
$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany
$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$	
$c_{min,2} = \emptyset_{sw} + c_{min,sw} = 8 + 15 = 23 \text{ mm}$	

$$c_{min} = \max\{c_{min,1}; c_{min,2}\} = \max\{15; 23\} = 23 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 23 + 10 = 33 \div 35 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Posouzení výztuže

$$d = h - c_{nom} - \phi/2 = 1000 - 35 - 14/2 = 958 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,014^2}{4} = 615,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{plocha tahové výztuže}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 615,75 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 267,72 \text{ kN} \quad \text{síla, kterou přenesou výztuže}$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b_w \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{267,72 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,042 \text{ m} \quad \text{výška tlačené oblasti}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 267,72 \cdot (0,958 - 0,4 \cdot 0,042) = 251,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 200,12 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 251,99 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 0,016 \text{ m}^2 \quad \text{maximální plocha výztuže}$$

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b_w \cdot d}{0,0013 \cdot b_w \cdot d} \right\} = \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,9 / 500 \cdot 0,4 \cdot 0,958}{0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,958} \right\} = 0,000578 \text{ m}^2$$

minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = 0,000578 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,000616 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,016 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,042}{0,958} = 0,044 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

ξ ... součinitel charakterizující poměrnou výšku tlačené oblasti

ξ_{lim} ... poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

Vzdálenost výztuže

$$s = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - \phi}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 35 - 14}{4 - 1} = 105 \text{ mm} \quad \text{osová vzdálenost výztuže}$$

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 300\} = \min\{2 \cdot 1000; 300\} = 300 \text{ mm} \geq s = 105 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$k_1 = 1,2$$

$$k_2 = 5 \text{ mm}$$

$$d_g = 16 \text{ mm} \quad \text{max. velikost zrna kameniva}$$

$$s_{\text{světlá}} = s - \emptyset = 105 - 14 = 91 \text{ mm} \quad \text{světlá vzdálenost mezi pruty}$$

$$s_{\min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 14; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} \leq s_{\text{světlá}} = 91 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na průměru prutu, pro } \emptyset \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa} \quad \text{mezí napětí v soudržnosti}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhové napětí v prutu v místě ukotvení}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 507 \text{ mm} \doteq 510 \text{ mm} \quad \text{zákl. požadovaná kotevní délka}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy}$$

$$\alpha_3 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží}$$

$$\alpha_4 = 0,7 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů}$$

$$\alpha_5 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 510 = 357 \text{ mm} \doteq 360 \text{ mm}$$

návrhová kotevní délka

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 510; 10 \cdot 14; 100\} = 153 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = 153 \text{ mm} \leq l_{bd} = 360 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.1.2 Návrh a posouzení horní ohybové výztuže

Návrh výztuže

$$\emptyset = 22 \text{ mm} \quad \text{průměr výztuže}$$

$$n = 4 \text{ ks} \quad \text{počet kusů}$$

Krytí výztuže

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$	přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton
$c_{min,b} = \emptyset = 22 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1
$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$	přídavná bezpečnostní složka
$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany
$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 22 \text{ mm}$	
$c_{min,2} = \emptyset_{sw} + c_{min,sw} = 8 + 15 = 23 \text{ mm}$	
$c_{min} = \max\{c_{min,1}; c_{min,2}\} = \max\{22; 23\} = 23 \text{ mm}$	min. krycí vrstva
$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 23 + 10 = 33 \div 35 \text{ mm}$	krycí vrstva

Posouzení výztuže

$d = h - c_{nom} - \emptyset/2 = 1000 - 35 - 22/2 = 954 \text{ mm}$	účinná výška průřezu
$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,022^2}{4} = 1520,53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	plocha tahové výztuže
$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1520,53 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 661,10 \text{ kN}$	síla, kterou přenesou výztuže
$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b_w \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{661,10 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,103 \text{ m}$	výška tlačené oblasti
$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 661,10 \cdot (0,954 - 0,4 \cdot 0,103) = 603,37 \text{ kNm}$	
$M_{Ed} = 497,67 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 603,37 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$	

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 0,016 \text{ m}^2$$
$$A_{s,min} = \max\left\{\frac{0,26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b_w \cdot d}{0,0013 \cdot b_w \cdot d}\right\} = \left\{\frac{0,26 \cdot 2,9/500 \cdot 0,4 \cdot 0,954}{0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,954}\right\} = 0,000575 \text{ m}^2$$
$$A_{s,min} = 0,000575 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,001521 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,016 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,103}{0,954} = 0,108 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 35 - 22}{4 - 1} = 103 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 300\} = \min\{2 \cdot 1000; 300\} = 300 \text{ mm} \geq s = 103 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$k_1 = 1,2 \quad k_2 = 5 \text{ mm} \quad d_g = 16 \text{ mm}$$

$$s_{světla} = s - \emptyset = 103 - 22 = 81 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 22; 16 + 5; 20\} = 26,4 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 26,4 \text{ mm} \leq s_{světla} = 81 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = \eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 797 \text{ mm} \doteq 800 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 0,7$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 800 = 560 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 800; 10 \cdot 22; 100\} = 240 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 240 \text{ mm} \leq l_{bd} = 560 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.1.3 Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh výztuže

$$\emptyset_{sw} = 8 \text{ mm} \quad \text{průměr výztuže}$$

$$s_{sw} = 125 \text{ mm} \quad \text{osová vzdálenost výztuže (v podélném směru)}$$

$$n = 2 \quad \text{počet větví třmínku (dvoustřížný třmínek)}$$

Krytí výztuže

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$	přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton
$c_{min,b} = \emptyset = 8 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1
$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$	přídavná bezpečnostní složka
$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany
$c_{min,sw} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$	
$c_{nom} = c_{min,sw} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$	krycí vrstva

Betonový průřez bez smykové výztuže

$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \text{ MPa}$	součinitel smykové pevnosti
$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{954}} = 1,458$	součinitel výšky průřezu
$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{1520,53}{400 \cdot 954} = 0,004$	stupeň vyztužení
$k_1 = 0,15$	součinitel
$\sigma_{cp} = \frac{N}{A} = 0 \text{ MPa}$	napětí od normálové síly
$V_{Rdc} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = [0,12 \cdot 10^3 \cdot 1,458 \cdot (100 \cdot 0,004 \cdot 20 \cdot 10^3)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 0,4 \cdot 0,954 = 152,64 \text{ kN}$	únosnost tažených diagonál
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,458^{3/2} \cdot 20^{1/2} = 0,337 \text{ MPa}$	
min. ekvivalentní smyková pevnost	
$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,337 \cdot 10^3 + 0,15 \cdot 0) \cdot 0,4 \cdot 0,954 = 128,77 \text{ kN}$	
min. únosnost ve smyku	
$V_{Rd,c} = \max\{V_{Rdc}; V_{Rd,c,min}\} = \max\{152,64; 128,77\} = 152,64 \text{ kN}$	únosnost ve smyku
$V_{Ed} = 254,68 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 152,64 \text{ kN} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE, navrhnout smyk. výztuž}$	

Betonový průřez se smykovou výztuží

$$A_{sw} = n \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_{sw}^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 0,000101 \text{ m}^2 \quad \text{plocha smykové výztuže}$$

$\theta = 45^\circ$ úhel mezi beton. tlakovými diagonálami a osou nosníku \perp na posouvající sílu

$\cotg\theta = \cotg45 = 1,0$ kotangens úhlu θ

$tg\theta = tg45 = 1,0$ tangens úhlu θ

$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,954 = 0,859 \text{ m}$ rameno vnitřních sil

$f_{yw,d} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$ návrh. mez kluzu smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_{sw}} \cdot z \cdot f_{yw,d} \cdot \cotg\theta = \frac{0,000101}{0,125} \cdot 0,859 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,0 = 300,23 \text{ kN}$$

návrhová únosnost ve smyku

$\alpha_{cw} = 1,0$ součinitel zohledňující stav napětí v tlačném pásu, pro nepředpjaté konstrukce

$\nu_1 = 0,6$ redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem, pro $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg\theta + tg\theta} = 1,0 \cdot 0,4 \cdot 0,859 \cdot 0,6 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,0 + 1,0} = 2060,64 \text{ kN}$$

maximální návrhová únosnost ve smyku

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,s}; V_{Rd,max}\} = \min\{300,23; 2060,64\} = 300,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 254,68 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 300,23 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční výztuž

V oblasti, kde je hodnota posouvající síly malá (uprostřed nosníku) je navržena konstrukční smyková výztuž. Tato výztuž bude umístěna ve vzdálenosti x od líce podpory.

$\phi_{sw,k} = 8 \text{ mm}$ průměr výztuže

$s_{sw,k} = 250 \text{ mm}$ osová vzdálenost výztuže (v podélném směru)

$n = 2$ počet větví třmínku (dvoustřížný třmínek)

$$V_{Rd,s,k} = \frac{A_{sw,k}}{s_{sw,k}} \cdot z \cdot f_{yw,d} \cdot \cotg\theta = \frac{0,000101}{0,250} \cdot 0,859 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,0 = 150,11 \text{ kN}$$

$$x_1 = \frac{l}{2} - \frac{l/2}{V_{Ed}} \cdot V_{Rd,s,k} = \frac{4,8}{2} - \frac{4,8/2}{254,68} \cdot 150,11 = 1,088 \text{ m} \text{ vzdálenost od podpory (krajní pole)}$$

$$x_2 = \frac{l}{2} - \frac{l/2}{V_{Ed}} \cdot V_{Rd,s,k} = \frac{5,3}{2} - \frac{5,3/2}{254,68} \cdot 150,11 = 0,985 \text{ m} \text{ vzdálenost od podpory (střední pole)}$$

Konstrukční zásady

Minimální stupeň vyztužení

$\alpha = 90^\circ$ úhel mezi smykovou a podélnou výztuží

$\sin\alpha = \sin90 = 1,0$ sinus úhlu α

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_{sw} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{0,000101}{0,125 \cdot 0,4 \cdot 1,0} = 0,00201 \quad \text{stupeň smykového vyztužení}$$

$$\rho_{w,k} = \frac{A_{sw,k}}{s_{sw,k} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{0,000101}{0,250 \cdot 0,4 \cdot 1,0} = 0,00101 \quad \text{stupeň smykového vyztužení (konstrukční v.)}$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \quad \text{min. stupeň smykového vyztužení}$$

$$\rho_{w,min} = 0,00088 \leq \rho_w = 0,00201 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\rho_{w,min} = 0,00088 \leq \rho_{w,k} = 0,00101 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Maximální podélná osová vzdálenost výztuže

$$s_{l,max} = \min\{0,75 \cdot d; 400\} = \min\{0,75 \cdot 954; 400\} = 400 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 125 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 400 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{sw,k} = 250 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 400 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Maximální příčná vzdálenost větví třmínku v průřezu

$$s_{t,max} = \min\{0,75 \cdot d; 600\} = \min\{0,75 \cdot 954; 600\} = 600 \text{ mm}$$

$$s_t = s_{t,k} = b_w - 2 \cdot c_{nom} - \phi_{sw} = 400 - 2 \cdot 25 - 8 = 342 \text{ mm}$$

$$s_t = s_{t,k} = 342 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 600 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.1.4 Návrh a posouzení výztuže na kroucení

Charakteristiky průřezu, dutý průřez

$$A = b_w \cdot h = 0,4 \cdot 1,0 = 0,4 \text{ m}^2 \quad \text{plocha betonového průřezu}$$

$$u = 2 \cdot (b_w + h) = 2 \cdot (0,4 + 1,0) = 2,8 \text{ m} \quad \text{vnější obvod průřezu}$$

$$t_{ef} = A/u = 0,4/2,8 = 0,143 \text{ m} \quad \text{účinná tloušťka stěny dutého průřezu}$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,4 - 0,143 = 0,257 \text{ m} \quad \text{šířka analogického dutého průřezu}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 1,0 - 0,143 = 0,857 \text{ m} \quad \text{výška analogického dutého průřezu}$$

$$u_k = 2 \cdot (b_k + h_k) = 2 \cdot (0,257 + 0,857) = 2,229 \text{ m} \quad \text{obvod analog. dutého průřezu}$$

$$A_k = b_k \cdot h_k = 0,257 \cdot 0,857 = 0,22 \text{ m}^2 \quad \text{plocha analogického dutého průřezu}$$

$$T_{Rd,c} = 2 \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot f_{ctd} = 2 \cdot 0,22 \cdot 0,143 \cdot 1,33 \cdot 10^3 = 83,97 \text{ kNm}$$

návrhový krouticí moment, který je schopen přenést samotný betonový průřez

$$T_{Ed} = 63,97 \text{ kNm} \leq T_{Rd,c} = 83,97 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Krouticí moment vyvolaný návrhovým zatížením T_{Ed} je menší než návrhový krouticí moment $T_{Rd,c}$, tudíž není nutné dimenzovat výztuž pro zachycení kroutících účinků. I přesto je doporučeno navrhnout minimální množství třmínků pro zachycení těchto účinků.

Z tohoto důvodu byla snížena osová vzdálenost mezi třmínky na 100 mm, respektive na 200 mm u konstrukční výztuže ve středu pole, čímž se navýšila únosnost prvku a vzniklá rezerva se použila jako minimální výztuž pro kroucení.

Opravený návrh smykové výztuže

$\emptyset_{sw} = 8 \text{ mm}$	průměr výztuže
$s_{sw} = 100 \text{ mm}$	osová vzdálenost výztuže (v podélném směru)
$n = 2$	počet větví třmínku (dvoustřížný třmínek)

Konstrukční zásady

Minimální stupeň vyztužení

$\alpha = 90^\circ$	úhel mezi smykovou a podélnou výztuží
$\sin \alpha = \sin 90 = 1,0$	sinus úhlu α
$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_{sw} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{0,000101}{0,1 \cdot 0,4 \cdot 1,0} = 0,00251$	stupeň smykového vyztužení
$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0,00088$	min. stupeň smykového vyztužení
$\rho_{w,min} = 0,00088 \leq \rho_w = 0,00251 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$	

Maximální podélná osová vzdálenost výztuže

$$s_{l,max} = \min\{u/8; b\} = \min\{2800/8; 400\} = 350 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 100 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 350 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.2 Mezní stav použitelnosti

Účinky zatížení

$M_{char} = 136,89 \text{ kNm}$	maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci
$N_{char} = 41,75 \text{ kN}$	maximální normálová síla pro charakteristickou kombinaci
$M_{kqp} = 116,67 \text{ kNm}$	maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci
$N_{kqp} = 31,01 \text{ kN}$	maximální normálová síla pro kvazistálou kombinaci

6.3.2.1 Omezení napětí

Ideální průřez bez trhlin

$$\begin{aligned}\alpha_e &= E_s/E_{cm} = 210/32 = 6,563 && \text{poměr modulů pružnosti} \\ A_c &= b_w \cdot h = 0,4 \cdot 1,0 = 0,4 \text{ m}^2 && \text{plocha betonového průřezu} \\ A_{s1} &= 0,00062 \text{ m}^2 && \text{plocha dolní ohybové výztuže} \\ A_{s2} &= 0,00152 \text{ m}^2 && \text{plocha horní ohybové výztuže} \\ d &= 0,958 \text{ m} && \text{účinná výška průřezu} \\ d_2 &= c_{nom,h} + \frac{\phi_h}{2} = 0,035 + \frac{0,022}{2} = 0,046 \text{ m} && \text{účinná výška průřezu} \\ a_c &= h/2 = 1/2 = 0,5 \text{ m} \\ A_i &= A_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 0,4 + (6,563 - 1) \cdot (0,00062 + 0,00152) = \\ &= 0,41188 \text{ m}^2 && \text{plocha ideálního průřezu} \\ a_{gi} &= \frac{A_c \cdot a_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)}{A_i} = \frac{0,4 \cdot 0,5 + (6,563 - 1) \cdot (0,00062 \cdot 0,958 + 0,00152 \cdot 0,046)}{0,41188} = 0,494 \text{ m} \\ &&& \text{vzdálenost neutrálné osy ideálního průřezu} \\ I_i &= I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1} \cdot (d - a_{gi})^2 + A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2] = \frac{0,4 \cdot 1,0^3}{12} + \\ &+ 0,4 \cdot (0,494 - 0,5)^2 + (6,563 - 1) \cdot [0,00062 \cdot (0,958 - 0,494)^2 + 0,00152 \cdot \\ &(0,494 - 0,046)^2] = 0,03578 \text{ m}^4 && \text{moment setrvačnosti ideálního průřezu} \\ M_{cr,lt} &= \frac{I_i \cdot f_{ctm}}{(h - a_{gi})} = \frac{0,03578 \cdot 2,9}{(1,0 - 0,494)} = 205,28 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 136,89 \text{ kNm} \\ &\rightarrow \text{TRHLINY NEVZNIKNOU} \end{aligned}$$

Kontrola napětí

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{kqp}}{A_i} \cdot \frac{M_{kqp} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{41,75}{0,41188} \cdot \frac{136,89 \cdot (1,0 - 0,494)}{0,03578} = 1,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = 1,72 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.2.2 Omezení šířky trhlin

Trhliny nevzniknou, což znamená že není nutné počítat jejich omezení.

6.3.2.3 Omezení průhybu

$$l = 5300 \text{ mm}$$

max. rozpětí průvlaku

$$d = 958 \text{ mm}$$

účinná výška průřezu (dolní výztuž)

$$A_s = 615,75 \text{ mm}^2$$

plocha výztuže (dolní výztuž)

$$K = 1,3$$

koefficient zohledňující konstrukční systém

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{615,75}{400 \cdot 958} = 0,00161$$

geometrický stupeň vyztužení tahovou výztuží

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 0,00548 \quad \text{referenční stupeň vyztužení}$$

$$\rho \leq \rho_0 \rightarrow \text{výpočet } \frac{l}{d} \text{ se provede podle vzorce:}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} &= K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] = \\ &= 1,3 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{0,00548}{0,00161} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{0,00548}{0,00161} - 1\right)^{3/2} \right] = 135,88 \end{aligned}$$

$$\frac{l}{d} = \frac{5,3}{0,958} = 5,53 \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 135,88 \rightarrow \text{VYHOVUJE, není nutné počítat průhyb}$$

6.4 PRŮVLAK P3, P4 (SKUPINA Č. 2)

Při návrhu a posouzení průvlaků P3 a P4 se postupovalo stejně jako v případě průvlaků P1 a P2. Z tohoto důvodu je zde výpočet popsán pouze zkráceně ve formě tabulek. Tyto průvlaky nebylo nutné posuzovat na kroucení.

Geometrie

$b = 400 \text{ mm}$	šířka průvlaku
$h = 600 \text{ mm}$	výška průvlaku
$l_1 = 4,8 \text{ m}$	délka průvlaku (krajní pole)
$l_2 = 5,3 \text{ m}$	délka průvlaku (střední pole)

6.4.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

$$M_{Ed}^+ = 60,74 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 89,21 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 116,30 \text{ kN}$$

6.4.1.1 Návrh a posouzení ohybové výztuže

Návrh a posouzení výztuže

moment	M_{Ed} [kNm]	\emptyset [mm]	n [mm]	c [mm]	A_s [mm ²]	F_s [kN]	d [mm]	x [mm]	M_{Rd} [kNm]	posouzení
M_{Ed}^+	60,74	12	3	50	339,29	147,52	544	23	78,89	vyhovuje
M_{Ed}^-	89,21	12	4	35	452,39	196,69	559	30,7	107,53	vyhovuje

Tabulka 6.9 - Návrh a posouzení výztuže

Konstrukční zásady

výztuž pro moment	A_s [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]	posouzení	$A_{s,min}$ [mm ²]	posouzení
M_{Ed}^+	339,29	9600	vyhovuje	328,14	vyhovuje
M_{Ed}^-	452,39	9600	vyhovuje	337,19	vyhovuje

Tabulka 6.10 - Minimální plocha výztuže

výztuž pro moment	ξ [-]	ξ_{lim} [-]	posouzení
M_{Ed}^+	0,042	0,617	vyhovuje
M_{Ed}^-	0,055	0,617	vyhovuje

Tabulka 6.11 - Omezení výšky tlačené oblasti

výztuž pro moment	s [mm]	s_{max} [mm]	posouzení	$s_{světla}$ [mm]	s_{min} [mm]	posouzení
M_{Ed}^+	144	300	vyhovuje	132	21	vyhovuje
M_{Ed}^-	106	300	vyhovuje	94	21	vyhovuje

Tabulka 6.12 - Vzdálenost výztuže

výztuž pro moment	l_{bd} [mm]	$l_{b,min}$ [mm]	posouzení
M_{Ed}^+	310	132	vyhovuje
M_{Ed}^-	310	132	vyhovuje

Tabulka 6.13 - Kotevní délka

6.4.1.2 Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh a posouzení výztuže

posouvající síla	V_{Ed} [kN]	\emptyset_{sw} [mm]	s_{sw} [mm]	n [ks]	A_{sw} [mm ²]	$V_{Rd,c}$ [kN]	posouzení	$V_{Rd,s}$ [kN]	posouzení
V_{Ed}	116,30	8	150	2	0,000101	86,60	nevyhovuje	146,60	vyhovuje

Tabulka 6.14 - Návrh a posouzení výztuže

posouvající síla	$\varnothing_{sw,k}$ [mm]	$s_{sw,k}$ [mm]	n [ks]	$A_{sw,k}$ [mm ²]	$V_{Rd,s,k}$ [kN]	x_1 [mm]	x_2 [mm]
V_{Ed}	8	250	2	0,000101	87,96	585	694

Tabulka 6.15 - Konstrukční výztuž

Konstrukční zásady

výztuž pro sílu	ρ_{sw} [-]	$\rho_{sw,min}$ [-]	posouzení	$\rho_{sw,k}$ [-]	$\rho_{sw,min}$ [-]	posouzení
V_{Ed}	0,00168	0,00088	vyhovuje	0,00101	0,00088	vyhovuje

Tabulka 6.16 - Minimální stupeň vyztužení

výztuž pro sílu	s_{sw} [mm]	$s_{l,max}$ [mm]	posouzení	$s_{sw,k}$ [mm]	$s_{l,max}$ [mm]	posouzení
V_{Ed}	150	400	vyhovuje	250	400	vyhovuje

Tabulka 6.17 - Max. podélná osová vzdálenost výztuže

výztuž pro sílu	s_t [mm]	$s_{t,max}$ [mm]	posouzení	$s_{t,k}$ [mm]	$s_{t,max}$ [mm]	posouzení
V_{Ed}	344	420	vyhovuje	342	420	vyhovuje

Tabulka 6.18 - Max. příčná vzdálenost větví třmínku v průřezu

6.4.2 Mezní stav použitelnosti

Účinky zatížení

$M_{char} = 41,43 \text{ kNm}$	maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci
$N_{char} = 107,52 \text{ kN}$	maximální normálová síla pro charakteristickou kombinaci
$M_{kqp} = 32,97 \text{ kN}$	maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci
$N_{kqp} = 84,96 \text{ kN}$	maximální normálová síla pro kvazistálou kombinaci

6.4.2.1 Omezení napětí

M_{char} [kNm]	N_{char} [kN]	M_{kqp} [kNm]	N_{kqp} [kN]	α_e [-]	A_i [m ²]	a_{gi} [m]	I_i [m ⁴]	$M_{cr,lt}$ [kNm]	posouzení
41,43	107,52	32,97	84,96	6,563	0,24440	0,299	0,00748	72,13	bez trhlin

Tabulka 6.19 - Výpočet a posouzení kritického momentu

$\sigma_{c,1}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]	posouzení
1,67	2,9	vyhovuje

Tabulka 6.20 - Omezení napětí

6.4.2.2 Omezení šířky trhlin

Trhliny nevzniknou, což znamená že není nutné počítat jejich omezení.

6.4.2.3 Omezení průhybů

l [mm]	d [mm]	K [-]	ρ [-]	ρ_0 [-]	l/d [-]	$(l/d)_{max}$ [-]	posouzení
5300	544	1,3	0,00156	0,00548	9,74	142,57	vyhovuje

Tabulka 6.21 - Omezení průhybů

6.5 PRŮVLAK P5 - P12 (SKUPINA Č. 3)

Při návrhu a posouzení průvlaků P5 - P12 se postupovalo stejně jako v případě průvlaků P1 a P2. Z tohoto důvodu je zde výpočet popsán pouze zkráceně ve formě tabulek. Tyto průvlaky nebylo nutné posuzovat na kroucení.

Geometrie

$b = 400 \text{ mm}$	šířka průvlaku
$h = 600 \text{ mm}$	výška průvlaku
$l = 4,8 \text{ m}$	délka průvlaku

6.5.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

$$M_{Ed}^+ = 80,69 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 74,08 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 148,08 \text{ kN}$$

6.5.1.1 Návrh a posouzení ohybové výztuže

Návrh a posouzení výztuže

moment	M_{Ed} [kNm]	\emptyset [mm]	n [mm]	c [mm]	A_s [mm ²]	F_s [kN]	d [mm]	x [mm]	M_{Rd} [kNm]	posouzení
M_{Ed}^+	80,69	14	3	60	461,81	200,79	533	31,4	104,50	vyhovuje
M_{Ed}^-	74,08	12	4	50	452,39	196,69	544	30,7	104,58	vyhovuje

Tabulka 6.22 - Návrh a posouzení výztuže

Konstrukční zásady

výztuž pro moment	A_s [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]	posouzení	$A_{s,min}$ [mm ²]	posouzení
M_{Ed}^+	461,81	9600	vyhovuje	321,51	vyhovuje
M_{Ed}^-	452,39	9600	vyhovuje	328,14	vyhovuje

Tabulka 6.23 - Minimální plocha výztuže

výztuž pro moment	ξ [-]	ξ_{lim} [-]	posouzení
M_{Ed}^+	0,059	0,617	vyhovuje
M_{Ed}^-	0,056	0,617	vyhovuje

Tabulka 6.24 - Omezení výšky tlačené oblasti

výztuž pro moment	s [mm]	s_{max} [mm]	posouzení	$s_{světlá}$ [mm]	s_{min} [mm]	posouzení
M_{Ed}^+	133	300	vyhovuje	119	21	vyhovuje
M_{Ed}^-	96	300	vyhovuje	84	21	vyhovuje

Tabulka 6.25 - Vzdálenost výztuže

výztuž pro moment	l_{bd} [mm]	$l_{b,min}$ [mm]	posouzení
M_{Ed}^+	360	153	vyhovuje
M_{Ed}^-	310	132	vyhovuje

Tabulka 6.26 - Kotevní délka

6.5.1.2 Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh a posouzení výztuže

posouvající síla	V_{Ed} [kN]	ϕ_{sw} [mm]	s_{sw} [mm]	n [ks]	A_{sw} [mm ²]	$V_{Rd,c}$ [kN]	posouzení	$V_{Rd,s}$ [kN]	posouzení
V_{Ed}	148,08	8	125	2	0,000101	84,93	nevyhovuje	171,20	vyhovuje

Tabulka 6.27 - Návrh a posouzení výztuže

posouvající síla	$\varnothing_{sw,k}$ [mm]	$s_{sw,k}$ [mm]	n [ks]	$A_{sw,k}$ [mm ²]	$V_{Rd,s,k}$ [kN]	x [mm]
V_{Ed}	8	250	2	0,000101	85,60	1013

Tabulka 6.28 - Konstrukční výztuž

Konstrukční zásady

výztuž pro sílu	ρ_{sw} [-]	$\rho_{sw,min}$ [-]	posouzení	$\rho_{sw,k}$ [-]	$\rho_{sw,min}$ [-]	posouzení
V_{Ed}	0,00201	0,00088	vyhovuje	0,00101	0,00088	vyhovuje

Tabulka 6.29 - Minimální stupeň vyztužení

výztuž pro sílu	s_{sw} [mm]	$s_{l,max}$ [mm]	posouzení	$s_{sw,k}$ [mm]	$s_{l,max}$ [mm]	posouzení
V_{Ed}	125	400	vyhovuje	250	400	vyhovuje

Tabulka 6.30 - Max. podélná osová vzdálenost výztuže

výztuž pro sílu	s_t [mm]	$s_{t,max}$ [mm]	posouzení	$s_{t,k}$ [mm]	$s_{t,max}$ [mm]	posouzení
V_{Ed}	342	408	vyhovuje	342	408	vyhovuje

Tabulka 6.31 - Max. příčná vzdálenost větví třmínku v průřezu

6.5.2 Mezní stav použitelnosti

Účinky zatížení

$$M_{char} = 57,75 \text{ kNm}$$

maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci

$$N_{char} = 238,10 \text{ kN}$$

maximální normálová síla pro charakteristickou kombinaci

$$M_{kqp} = 48,60 \text{ kN}$$

maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci

$$N_{kqp} = 193,98 \text{ kN}$$

maximální normálová síla pro kvazistálou kombinaci

6.5.2.1 Omezení napětí

M_{char} [kNm]	N_{char} [kN]	M_{kqp} [kNm]	N_{kqp} [kN]	α_e [-]	A_i [m ²]	a_{gi} [m]	I_i [m ⁴]	$M_{cr,lt}$ [kNm]	posouzení
57,75	238,1	48,6	193,98	6,563	0,24509	0,300	0,00749	72,38	bez trhlin

Tabulka 6.32 - Výpočet a posouzení kritického momentu

$\sigma_{c,1}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]	posouzení
2,74	2,9	vyhovuje

Tabulka 6.33 - Omezení napětí

6.5.2.2 Omezení šířky trhlin

Trhliny nevzniknou, což znamená že není nutné počítat jejich omezení.

6.5.2.3 Omezení průhybů

l [mm]	d [mm]	K [-]	ρ [-]	ρ_0 [-]	l/d [-]	$(l/d)_{max}$ [-]	posouzení
4800	533	1,3	0,00217	0,00548	9,01	84,37	vyhovuje

Tabulka 6.34 - Omezení průhybů

6.6 SLOUP S4 (SKUPINA Č. 1)

6.6.1 Mezní stav únosnosti

Geometrie

$b = 400 \text{ mm}$	šířka sloupu
$h = 400 \text{ mm}$	výška sloupu
$l = 3,52 \text{ m}$	délka sloupu

6.6.1.1 Návrh a posouzení výztuže (směr y)

Účinky zatížení

$M_{y,max} = 81,87 \text{ kNm}$	$N_{max} = -68,58 \text{ kN}$
$N_{přísl} = -44,73 \text{ kN}$	$M_{y,přísl} = -65,81 \text{ kNm}$

Návrh výztuže

Hlavní podélná výztuž		Třmínky	
$\emptyset = 24 \text{ mm}$	průměr výztuže	$\emptyset_{sw} = 8 \text{ mm}$	průměr výztuže
$n = 4 \text{ ks}$	počet kusů	$s_{sw} = 300 \text{ mm}$	osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

Hlavní podélná výztuž

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$	přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton
$c_{min,b} = \emptyset = 24 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1
$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$	přídavná bezpečnostní složka
$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany
$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 24 \text{ mm}$	
$c_{min,2} = c_{min,tř} + \emptyset_{tř} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$	
$c_{min} = \max\{c_{min,1}; c_{min,2}\} = \max\{24; 23\} = 24 \text{ mm}$	
min. krycí vrstva	

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 24 + 10 = 34 \text{ mm} \doteq 35 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Třmínky

$$\begin{aligned} \Delta c_{dev} &= 10 \text{ mm} && \text{přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton} \\ c_{min,b} &= \phi_{sw} = 8 \text{ mm} && \text{min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti} \\ c_{min,dur} &= 15 \text{ mm} && \text{min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1} \\ \Delta c_{dur,\gamma} &= 0 \text{ mm} && \text{přídavná bezpečnostní složka} \\ \Delta c_{dur,st} &= 0 \text{ mm} && \text{redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli} \\ \Delta c_{dur,add} &= 0 \text{ mm} && \text{redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany} \\ c_{min} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm} \\ c_{nom} &= c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} && \text{krycí vrstva} \end{aligned}$$

Návrh výztuže

$$\begin{aligned} d &= h - c_{nom} - \phi/2 = 400 - 35 - 24/2 = 353 \text{ mm} && \text{účinná výška průřezu} \\ d_2 &= c_{nom} + \phi/2 = 35 + 24/2 = 47 \text{ mm} && \text{účinná výška průřezu} \\ z_1 &= z_2 = h/2 - c_{nom} - \phi/2 = 400/2 - 35 + 24/2 = 153 \text{ mm} && \text{rameno vnitřních sil} \\ A_{s1} &= A_{s2} = n/2 \cdot (\pi \cdot \phi^2/4) = 2 \cdot (\pi \cdot 24^2/4) = 904,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 && \text{plocha výztuže} \\ A_c &= b \cdot h = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ m}^2 && \text{plocha betonu} \\ F_{s1} &= F_{s2} = A_{s1,2} \cdot f_{yd} = 904,78 \cdot 434,78 = 393,38 \text{ kN} && \text{síla, kterou přenesou výztuže} \end{aligned}$$

Ověření štíhlosti sloupu - max. normálová síla

Skutečná štíhlost

$$\begin{aligned} l_{max} &= 3,52 \text{ m} && \text{délka sloupu} \\ k_1 &= k_2 = 0,1 && \text{poměrná poddajnost v natočení konců prutu, pro vetknutí} \\ l_0 &= 0,5 \cdot l_{max} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45+k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45+k_2}\right)} = 2,08 \text{ m} && \text{účinná délka} \\ i &= \sqrt{\frac{1/12 \cdot b \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{1/12 \cdot 0,4 \cdot 0,4^3}{0,4 \cdot 0,4}} = 0,115 && \text{poloměr setrvačnosti beton. průřezu bez trhlin} \\ \lambda &= l_0/i = 2,080/0,115 = 18,013 && \text{štíhlost} \end{aligned}$$

Limitní štíhlost

$$M_{01} = -65,81 \text{ kNm} \quad |M_{01}| \geq |M_{02}| \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$M_{02} = 65,80 \text{ kNm} \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$N_{Ed} = -68,58 \text{ kN} \quad \text{maximální normálová síla}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 904,78 \cdot 434,78}{160000 \cdot 20} = 0,246 \quad \text{mechanický stupeň vyztužení}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{68580}{160000 \cdot 20} = 0,021 \quad \text{poměrná normálová síla}$$

$$r_m = M_{01}/M_{02} = -65,81/65,80 = -1,0 \quad \text{poměr momentů}$$

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,246} = 1,221$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-1,0) = 2,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,221 \cdot 2,7}{\sqrt{0,021}} = 315,382 \quad \text{limitní štíhlost}$$

$$\lambda = 18,013 \leq \lambda_{lim} = 315,382 \rightarrow \text{VYHOVUJE, lze upustit od posouzení na vzpěr}$$

Ověření štíhlosti sloupu - max. ohybový moment

Skutečná štíhlost

$$l_{max} = 3,52 \text{ m} \quad \text{délka sloupu}$$

$$k_1 = k_2 = 0,1 \quad \text{poměrná poddajnost v natočení konců prutu, pro vetknutí}$$

$$l_0 = 0,5 \cdot l_{max} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} = 2,08 \text{ m} \quad \text{účinná délka}$$

$$i = \sqrt{\frac{1/12 \cdot b \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{1/12 \cdot 0,4 \cdot 0,4^3}{0,4 \cdot 0,4}} = 0,115 \quad \text{poloměr setrvačnosti beton. průřezu bez trhlin}$$

$$\lambda = l_0/i = 2,08/0,115 = 18,013 \quad \text{štíhlost}$$

Limitní štíhlost

$$M_{01} = 81,87 \text{ kNm} \quad |M_{01}| \geq |M_{02}| \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$M_{02} = -74,33 \text{ kNm} \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$N_{Ed} = -44,73 \text{ kN} \quad \text{příslušná normálová síla}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 904,78 \cdot 434,78}{160000 \cdot 20} = 0,246 \quad \text{mechanický stupeň vyztužení}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{44730}{160000 \cdot 20} = 0,014 \quad \text{poměrná normálová síla}$$

$$r_m = M_{01}/M_{02} = 81,87/-74,33 = -1,1 \quad \text{poměr momentů}$$

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,246} = 1,221$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-1,1) = 2,801$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,221 \cdot 2,801}{\sqrt{0,014}} = 405,163 \quad \text{limitní štíhlost}$$

$$\lambda = 18,013 \leq \lambda_{lim} = 405,163 \rightarrow \text{VYHOVUJE, lze upustit od posouzení na vzpěr}$$

Interakční diagram

$$\lambda = 0,8$$

součinitel definující účinnou výšku tlač. oblasti

$$\eta = 1,0$$

součinitel definující účinnou pevnost

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,628$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,448$$

Bod 0

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_{c2} = 210 \cdot 10^9 \cdot 0,002 = 420 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \rightarrow \text{brát napětí } \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + \sum A_s \cdot \sigma_s) = -(0,4 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + 2 \cdot 0,905 \cdot 420 \cdot 10^6) = \\ = -3960,01 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 - A_{s1} \cdot \sigma_s \cdot z_1) = 420 \cdot 10^6 \cdot (0,905 \cdot 0,153 - 0,905 \cdot 0,153) = \\ = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_s) = \\ = -(0,8 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + 0,905 \cdot 420 \cdot 10^6) = -2639,21 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = \lambda \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 = 0,8 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot \\ \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,353) + 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 = 193,03 \text{ kNm}$$

Bod 2

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Delta F_s) = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + \\ + 393,38 \cdot 10^3 - 393,38 \cdot 10^3) = -1419,50 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,bal} &= -\lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 + F_{s1} \cdot z_1 = \\
 &= -0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,353) + \\
 &\quad + 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,155 + 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,155 = 278,34 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 3

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_{s1}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{393,38 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,061 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 393,38 \cdot 10^3 \cdot (0,353 - 0,4 \cdot 0,061) = 129,19 \text{ kNm}$$

Bod 4

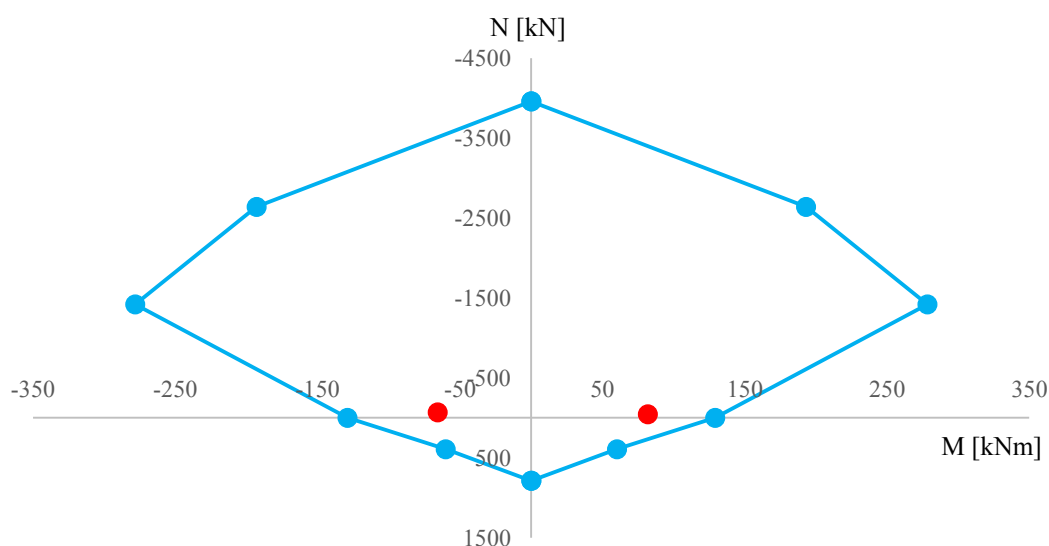
$$N_{Rdt,bal} = F_{s1} = 393,38 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt,bal} = F_{s1} \cdot z_1 = 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 = 60,19 \text{ kNm}$$

Bod 5

$$N_{Rdt0} = F_{s1} + F_{s1} = 393,38 \cdot 10^3 + 393,38 \cdot 10^3 = 786,76 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 - 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 = 0 \text{ kNm}$$



Obrázek 6.1 - Interakční diagram

Obě posuzované kombinace momentu a normálové síly leží v ploše interakčního digramu, což znamená, že navrhovaná výztuž vyhovuje.

Konstrukční zásady - hlavní podélná výztuž

Rozměry průřezu, průměr výztuže

$$b_{min} = 300 \text{ mm} \leq b = 400 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$h_{min} = 300 \text{ mm} \leq h = 400 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\phi_{min} = 12 \text{ mm} \leq \phi = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,16 = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 68,58 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} = 0,00002 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,00002 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,0018 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,0064 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití tažené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,061}{0,353} = 0,174 \leq \xi_{bal,1} = 0,628 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití tlačené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{0,061}{0,047} = 1,308 \geq \xi_{bal,1} = 0,628 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq s_{osová} = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - \phi}{n/2 - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 35 - 24}{4/2 - 1} = 306 \text{ mm}$$

$\rightarrow \text{VYHOVUJE}$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 24; 16 + 5; 20\} = 28,8 \text{ mm} \doteq 29 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 29 \text{ mm} \leq s_{světlá} = s_{osová} - \phi = 306 - 24 = 282 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na průměru prutu, pro } \phi \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa} \quad \text{mezní napětí v soudržnosti}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhové napětí v prutu v místě ukotvení}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{24}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 869,6 \text{ mm} \doteq 870 \text{ mm} \quad \text{zákl. požadovaná kotevní délka}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy}$$

$$\alpha_3 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží}$$

$$\alpha_4 = 0,7 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů}$$

$$\alpha_5 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 870 = 609 \text{ mm} \doteq 610 \text{ mm}$$

návrhová kotevní délka

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 870; 10 \cdot 24; 100\} = 261 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = 261 \text{ mm} \leq l_{bd} = 610 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady - třmínky

Průměr výztuže

$$\emptyset_{sw,min} = \max\{6; \emptyset/4\} = \max\{6; 24/4\} = 6 \text{ mm} \leq \emptyset_{sw} = 8 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{sw,max} = \min\{15 \cdot \emptyset; \min\{b; h\}; 300\} = \min\{15 \cdot 24; \min\{400; 400\}; 300\} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{sw,max} = 300 \text{ mm} \leq s_{sw} = 300 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{sw,deska} = 0,6 \cdot s_{sw} = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ mm}$$

6.6.1.2 Návrh a posouzení výztuže (směr z)

Účinky zatížení

$$M_{z,max} = 93,35 \text{ kNm}$$

$$N_{max} = -68,58 \text{ kN}$$

$$N_{přisl} = -44,73 \text{ kN}$$

$$M_{z,přisl} = 75,51 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže

Hlavní podélná výztuž

$$\varnothing = 24 \text{ mm} \quad \text{průměr výztuže}$$

$$n = 4 \text{ ks} \quad \text{počet kusů}$$

Třmínky

$$\varnothing_{sw} = 8 \text{ mm} \quad \text{průměr výztuže}$$

$$s_{sw} = 300 \text{ mm} \quad \text{osová vzdálenost výztuže}$$

Krytí výztuže

Hlavní podélná výztuž

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton}$$

$$c_{min,b} = \varnothing = 24 \text{ mm} \quad \text{min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm} \quad \text{min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm} \quad \text{přídavná bezpečnostní složka}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm} \quad \text{redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm} \quad \text{redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany}$$

$$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 24 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,tř} + \varnothing_{tř} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,1}; c_{min,2}\} = \max\{24; 23\} = 24 \text{ mm} \quad \text{min. krycí vrstva}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 24 + 10 = 34 \text{ mm} \doteq 35 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Třmínky

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton}$$

$$c_{min,b} = \varnothing_{sw} = 8 \text{ mm} \quad \text{min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm} \quad \text{min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm} \quad \text{přídavná bezpečnostní složka}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm} \quad \text{redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli}$$

$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Návrh výztuže

$$d = h - c_{nom} - \phi/2 = 400 - 35 - 24/2 = 353 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$d_2 = c_{nom} + \phi/2 = 35 + 24/2 = 47 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$z_1 = z_2 = h/2 - c_{nom} - \phi/2 = 400/2 - 35 + 24/2 = 153 \text{ mm} \quad \text{rameno vnitřních sil}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = n/2 \cdot (\pi \cdot \phi^2/4) = 2 \cdot (\pi \cdot 24^2/4) = 904,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{plocha výztuže}$$

$$A_c = b \cdot h = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ m}^2 \quad \text{plocha betonu}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1,2} \cdot f_{yd} = 904,78 \cdot 434,78 = 393,38 \text{ kN} \quad \text{síla, kterou přenesou výztuže}$$

Ověření štíhlosti sloupu - max. normálová síla

Skutečná štíhlost

$$l_{max} = 3,52 \text{ m} \quad \text{délka sloupu}$$

$$k_1 = k_2 = 0,1 \quad \text{poměrná poddajnost v natočení konců prutu, pro vetknutí}$$

$$l_0 = 0,5 \cdot l_{max} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} = 2,08 \text{ m} \quad \text{účinná délka}$$

$$i = \sqrt{\frac{1/12 \cdot b \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{1/12 \cdot 0,4 \cdot 0,4^3}{0,4 \cdot 0,4}} = 0,115 \quad \text{poloměr setrvačnosti beton. průřezu bez trhlin}$$

$$\lambda = l_0/i = 2,068/0,115 = 18,013 \quad \text{štíhlost}$$

Limitní štíhlost

$$M_{01} = 75,51 \text{ kNm} \quad |M_{01}| \geq |M_{02}| \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$M_{02} = -75,42 \text{ kNm} \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$N_{Ed} = -68,58 \text{ kN} \quad \text{maximální normálová síla}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 904,78 \cdot 434,78}{160000 \cdot 20} = 0,246 \quad \text{mechanický stupeň vyztužení}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{68580}{160000 \cdot 20} = 0,021 \quad \text{poměrná normálová síla}$$

$$r_m = M_{01}/M_{02} = 75,51/-75,42 = -1,0 \quad \text{poměr momentů}$$

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,246} = 1,221$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-1,0) = 2,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,221 \cdot 2,7}{\sqrt{0,021}} = 315,504 \quad \text{limitní štíhlost}$$

$$\lambda = 18,013 \leq \lambda_{lim} = 315,504 \rightarrow \text{VYHOVUJE, lze upustit od posouzení na vzpěr}$$

Ověření štíhlosti sloupu - max. ohybový moment

Skutečná štíhlost

$$l_{max} = 3,52 \text{ m} \quad \text{délka sloupu}$$

$$k_1 = k_2 = 0,1 \quad \text{poměrná poddajnost v natočení konců prutu, pro vetknutí}$$

$$l_0 = 0,5 \cdot l_{max} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} = 2,08 \text{ m} \quad \text{účinná délka}$$

$$i = \sqrt{\frac{1/12 \cdot b \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{1/12 \cdot 0,4 \cdot 0,4^3}{0,4 \cdot 0,4}} = 0,115 \quad \text{poloměr setrvačnosti beton. průřezu bez trhlin}$$

$$\lambda = l_0 / i = 2,068 / 0,115 = 18,013 \quad \text{štíhlost}$$

Limitní štíhlost

$$M_{01} = 93,35 \text{ kNm} \quad |M_{01}| \geq |M_{02}| \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$M_{02} = -84,27 \text{ kNm} \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$N_{Ed} = -44,73 \text{ kN} \quad \text{příslušná normálová síla}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 904,78 \cdot 434,78}{160000 \cdot 20} = 0,246 \quad \text{mechanický stupeň vyztužení}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{44730}{160000 \cdot 20} = 0,014 \quad \text{poměrná normálová síla}$$

$$r_m = M_{01} / M_{02} = 93,35 / -84,27 = -1,11 \quad \text{poměr momentů}$$

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,246} = 1,221$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-1,11) = 2,808$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,221 \cdot 2,808}{\sqrt{0,014}} = 406,075 \quad \text{limitní štíhlost}$$

$$\lambda = 18,013 \leq \lambda_{lim} = 406,075 \rightarrow \text{VYHOVUJE, lze upustit od posouzení na vzpěr}$$

Interakční diagram

$$\lambda = 0,8$$

součinitel definující účinnou výšku tlač. oblasti

$$\eta = 1,0$$

součinitel definující účinnou pevnost

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,628$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,448$$

Bod 0

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_{c2} = 210 \cdot 10^9 \cdot 0,002 = 420 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \rightarrow \text{brát napětí } \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + \sum A_s \cdot \sigma_s) = -(0,4 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + 2 \cdot 0,905 \cdot 420 \cdot 10^6) = \\ = -3960,01 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 - A_{s1} \cdot \sigma_s \cdot z_1) = 420 \cdot 10^6 \cdot (0,905 \cdot 0,153 - 0,905 \cdot 0,153) = \\ = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_s) = \\ = -(0,8 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + 0,905 \cdot 420 \cdot 10^6) = -2639,21 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = \lambda \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 = 0,8 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot \\ \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,353) + 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 = 193,03 \text{ kNm}$$

Bod 2

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Delta F_s) = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + \\ + 393,38 \cdot 10^3 - 393,38 \cdot 10^3) = -1419,50 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = -\lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 + F_{s1} \cdot z_1 = \\ = -0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,353 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,353) + \\ + 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,155 + 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,155 = 278,34 \text{ kNm}$$

Bod 3

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_{s1}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{393,38 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,061 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 393,38 \cdot 10^3 \cdot (0,353 - 0,4 \cdot 0,061) = 129,19 \text{ kNm}$$

Bod 4

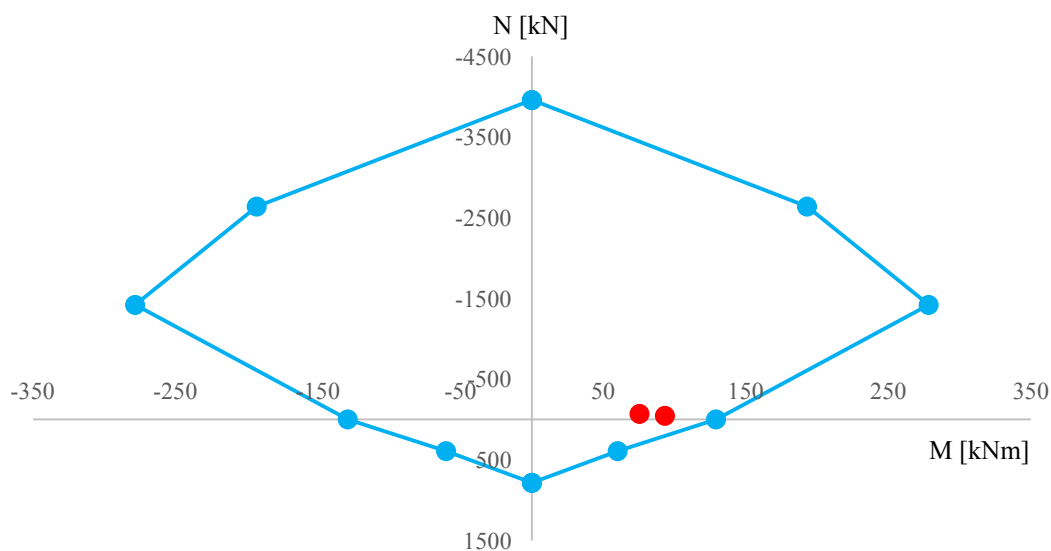
$$N_{Rdt,bal} = F_{s1} = 393,38 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt,bal} = F_{s1} \cdot z_1 = 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 = 60,19 \text{ kNm}$$

Bod 5

$$N_{Rdt0} = F_{s1} + F_{s1} = 393,38 \cdot 10^3 + 393,38 \cdot 10^3 = 786,76 \text{ kN}$$

$$M_{Rdt0} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 - 393,38 \cdot 10^3 \cdot 0,153 = 0 \text{ kNm}$$



Obrázek 6.2 - Interakční diagram

Obě posuzované kombinace momentu a normálové síly leží v ploše interakčního digramu, což znamená, že navrhovaná výztuž vyhovuje.

Konstrukční zásady - hlavní podélná výztuž

Rozměry průřezu, průměr výztuže

$$b_{min} = 300 \text{ mm} \leq b = 400 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$h_{min} = 300 \text{ mm} \leq h = 400 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\phi_{min} = 12 \text{ mm} \leq \phi = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,16 = 0,0064 \text{ m}^2 \geq A_s = 0,0018 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 68,58 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} = 0,00002 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,0018 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití tažené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,061}{0,353} = 0,174 \leq \xi_{bal,1} = 0,628 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití tlačené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{0,061}{0,047} = 1,308 \geq \xi_{bal,1} = 0,628 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq s_{osová} = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - \phi}{n/2 - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 35 - 24}{4/2 - 1} = 306 \text{ mm}$$

$\rightarrow \text{VYHOVUJE}$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 24; 16 + 5; 20\} = 28,8 \text{ mm} \doteq 29 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 29 \text{ mm} \leq s_{světlá} = s_{osová} - \phi = 306 - 24 = 282 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na průměru prutu, pro } \phi \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa} \quad \text{mezní napětí v soudržnosti}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhové napětí v prutu v místě ukotvení}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{24}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 869,6 \text{ mm} \doteq 870 \text{ mm} \quad \text{zákl. požadovaná kotevní délka}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy}$$

$$\begin{aligned}
\alpha_3 &= 1,0 && \text{součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží} \\
\alpha_4 &= 0,7 && \text{součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů} \\
\alpha_5 &= 1,0 && \text{součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu} \\
l_{bd} &= \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 440 = 609 \text{ mm} \doteq 610 \text{ mm} \\
&&& \text{návrhová kotevní délka} \\
l_{b,min} &= \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 870; 10 \cdot 24; 100\} = 261 \text{ mm} \\
&&& \text{minimální kotevní délka} \\
l_{b,min} &= 261 \text{ mm} \leq l_{bd} = 610 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}
\end{aligned}$$

Konstrukční zásady - třmínky

Průměr výztuže

$$\emptyset_{sw,min} = \max\{6; \emptyset/4\} = \max\{6; 24/4\} = 6 \text{ mm} \leq \emptyset_{sw} = 8 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{sw,max} = \min\{15 \cdot \emptyset; \min\{b; h\}; 300\} = \min\{15 \cdot 24; \min\{400; 400\}; 300\} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{sw,max} = 300 \text{ mm} \leq s_{sw} = 300 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{sw,deska} = 0,6 \cdot s_{sw} = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ mm}$$

6.7 SLOUPY S3, S5 (SKUPINA Č. 2)

Při návrhu a posouzení sloupů S3 a S5 se postupovalo stejně jako v případě sloupu S4. Z tohoto důvodu je zde výpočet popsán pouze zkráceně ve formě tabulek.

Geometrie

$b = 400 \text{ mm}$ šířka sloupu

$h = 400 \text{ mm}$ výška sloupu

$l = 4,1 \text{ m}$ délka sloupu

6.7.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

Směr y

$M_{y,max} = 59,87 \text{ kNm}$

$N_{přísl} = -1026,52 \text{ kN}$

$N_{max} = -1586,16 \text{ kN}$

$M_{y,přísl} = 17,19 \text{ kNm}$

Směr z

$M_{y,max} = 63,41 \text{ kNm}$

$N_{přísl} = -1034,30 \text{ kN}$

$N_{max} = -1586,16 \text{ kN}$

$M_{y,přísl} = -39,28 \text{ kNm}$

Návrh a posouzení výztuže

směr	\emptyset [mm]	n [ks]	\emptyset_{sw} [mm]	s_{sw} [mm]	c_{nom} [mm]	d [mm]	d_2 [mm]	$z_1 = z_2$ [mm]	$A_{s1} = A_{s2}$ [mm ²]	$F_{s1} = F_{s2}$ [kN]
y	16	4	8	200	35	357	43	157	402,12	174,84
z	16	4	8	200	35	357	43	157	402,12	174,84

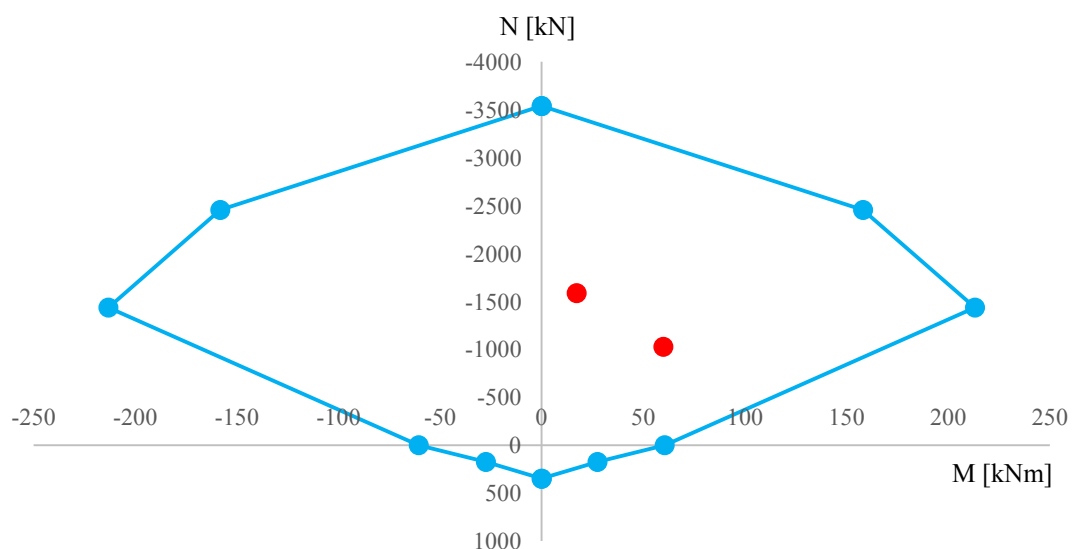
Tabulka 6.35 - Návrh výztuže

směr	štíhlost pro N_{max}			štíhlost pro M_{max}		
	λ [-]	λ_{lim} [-]	posouzení	λ [-]	λ_{lim} [-]	posouzení
y	20,981	69,186	vyhovuje	20,981	74,273	vyhovuje
z	20,981	81,129	vyhovuje	20,981	73,870	vyhovuje

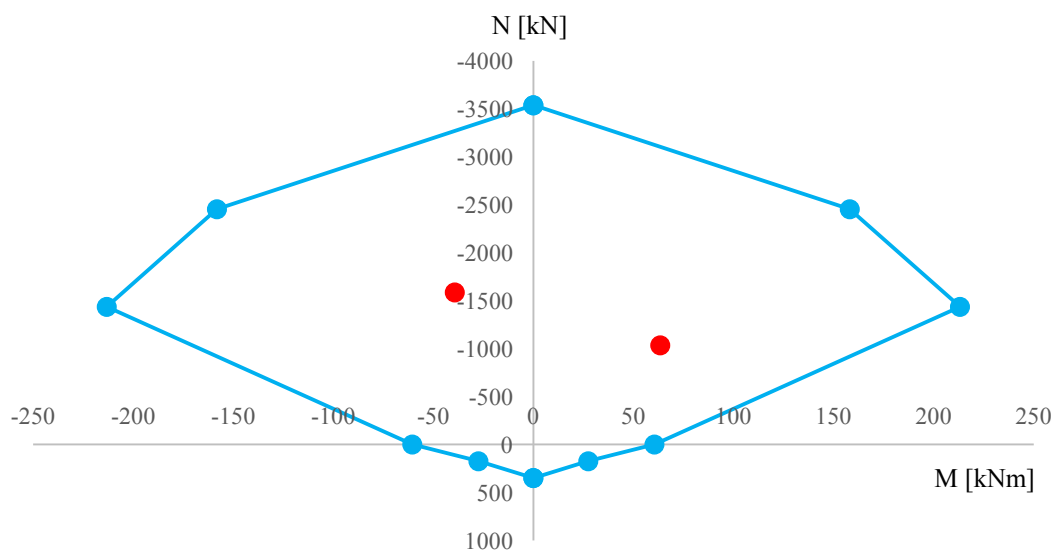
Tabulka 6.36 - Posouzení štíhlosti

směr	bod 0		bod 1		bod 2	
	N_{Rd0} [kN]	M_{Rd0} [kNm]	N_{Rd1} [kN]	M_{Rd1} [kNm]	$N_{Rd2,bal}$ [kN]	$M_{Rd,bal}$ [kNm]
y, z	-3537,78	0,00	-2453,69	158,14	-1435,59	213,21
směr	bod 3		bod 4		bod 5	
	N_{Rd3} [kN]	M_{Rd3} [kNm]	$N_{Rdt,bal}$ [kN]	$M_{Rdt,bal}$ [kNm]	N_{Rdt0} [kN]	M_{Rdt0} [kNm]
y, z	0,00	60,51	174,84	27,45	349,67	0,00

Tabulka 6.37 - Body v interakčním diagramu



Obrázek 6.3 - Interakční diagram (směr y)



Obrázek 6.4 - Interakční diagram (směr z)

Posuzované kombinace momentu a normálové síly ve směru osy y a osy z leží v ploše interakčního digramu, což znamená, že navrhovaná výztuž vyhovuje.

Konstrukční zásady

Konstrukční zásady jsou napsány pro oba směry dohromady, neboť výztuž je stejná. Nejprve jsou popsány zásady pro hlavní výztuž, poslední tabulka je určena pro třmínky.

směr	b [mm]	b_{\min} [mm]	posouzení	h [mm]	h_{\min} [mm]	posouzení	\emptyset [mm]	\emptyset_{\min} [mm]	posouzení
y, z	400	300	vyhovuje	400	300	vyhovuje	16	12	vyhovuje

Tabulka 6.38 - Omezení rozměrů průřezu, průměru výztuže (hl. podélná výztuž)

směr	A_s [mm ²]	$A_{s,\max}$ [mm ²]	posouzení	$A_{s,\min}$ [mm ²]	posouzení
y, z	804,25	6400	vyhovuje	364,82	vyhovuje

Tabulka 6.39 - Minimální plocha výztuže (hl. podélná výztuž)

směr	tažená výztuž			tlačená výztuž		
	ξ [-]	ξ_{bal} [-]	posouzení	ξ [-]	ξ_{bal} [-]	posouzení
y, z	0,077	0,628	vyhovuje	0,635	0,628	vyhovuje

Tabulka 6.40 - Využití výztuže (hl. podélná výztuž)

směr	s [mm]	s_{\max} [mm]	posouzení	$s_{\text{světla}}$ [mm]	s_{\min} [mm]	posouzení
y, z	314	400	vyhovuje	298	21	vyhovuje

Tabulka 6.41 - Vzdálenost výztuže (hl. podélná výztuž)

směr	l_{bd} [mm]	$l_{\text{b,min}}$ [mm]	posouzení
y, z	410	174	vyhovuje

Tabulka 6.42 - Kotevní délka (hl. podélná výztuž)

směr	\emptyset_{sw} [mm]	$\emptyset_{\text{sw,min}}$ [mm]	posouzení	s [mm]	s_{\max} [mm]	posouzení
y, z	8	6	vyhovuje	200	240	vyhovuje

Tabulka 6.43 - Konstrukční zásady pro třmínky

6.8 SLOUPY S1, S7, S10 (SKUPINA Č. 3)

Při návrhu a posouzení sloupů S1, S7 a S10 se postupovalo stejně jako v případě sloupu S4. Z tohoto důvodu je zde výpočet popsán pouze zkráceně ve formě tabulek.

U těchto sloupů byla navržena stejná výztuž jako u skupiny sloupů č. 2 a většina výsledků se neliší. Proto jsou zde vloženy pouze tabulky s výsledky, které nemají shodnou hodnotu s tabulkami v kapitole 6.7.1.

Geometrie

$b = 400 \text{ mm}$ šířka sloupu

$h = 400 \text{ mm}$ výška sloupu

$l = 4,1 \text{ m}$ délka sloupu

6.8.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

Směr y

$M_{y,max} = 42,87 \text{ kNm}$

$N_{přísl} = -217,68 \text{ kN}$

$N_{max} = -628,99 \text{ kN}$

$M_{y,přísl} = -15,81 \text{ kNm}$

Směr z

$M_{y,max} = 36,92 \text{ kNm}$

$N_{přísl} = -221,43 \text{ kN}$

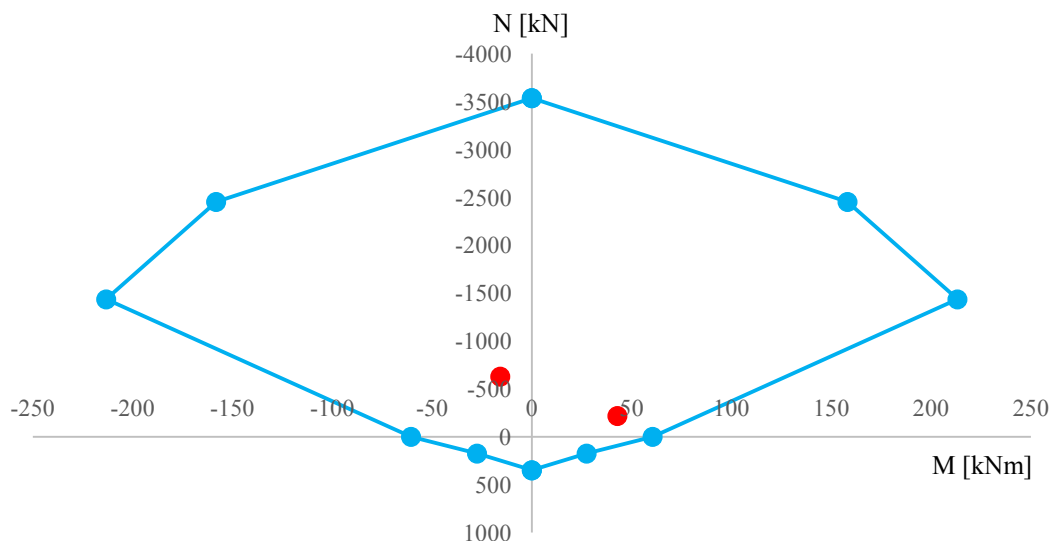
$N_{max} = -628,99 \text{ kN}$

$M_{y,přísl} = 17,56 \text{ kNm}$

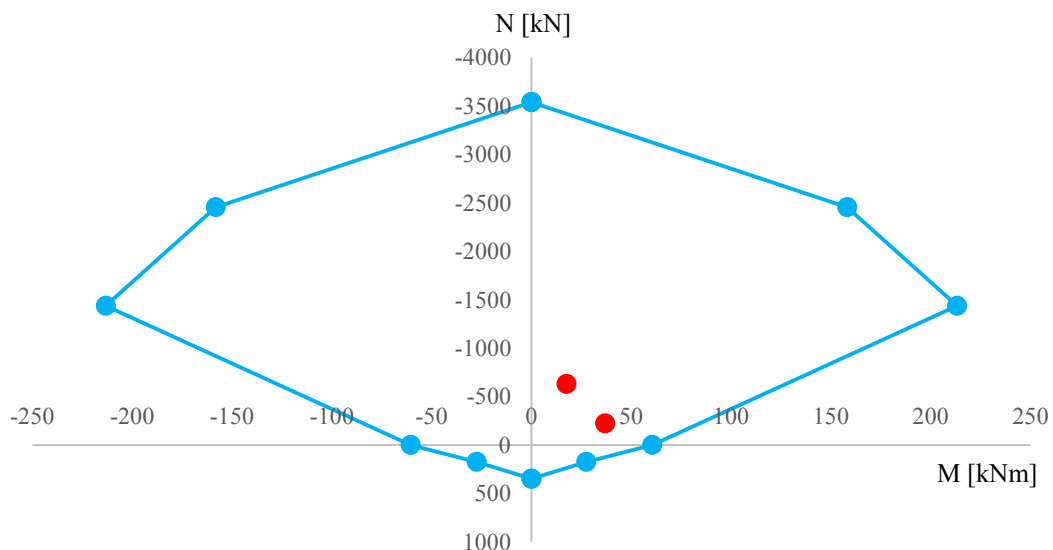
Návrh a posouzení výztuže

směr	štíhlost pro N_{max}			štíhlost pro M_{max}		
	λ [-]	λ_{lim} [-]	posouzení	λ [-]	λ_{lim} [-]	posouzení
y	20,981	110,240	vyhovuje	20,981	168,398	vyhovuje
z	20,981	115,210	vyhovuje	20,981	166,004	vyhovuje

Tabulka 6.44 - Posouzení štíhlosti



Obrázek 6.5 - Interakční diagram (směr y)



Obrázek 6.6 - Interakční diagram (směr z)

Posuzované kombinace momentu a normálové síly ve směru osy y a osy z leží v ploše interakčního diagramu, což znamená, že navrhovaná výztuž vyhovuje.

Konstrukční zásady

směr	A_s [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]	posouzení	$A_{s,min}$ [mm ²]	posouzení
y, z	804,25	6400	vyhovuje	144,67	vyhovuje

Tabulka 6.45 - Vzdálenost výztuže (hl. podélná výztuž)

6.9 SLOUPY S2, S6, S8, S9, S11, S12 (SKUPINA Č. 4)

Při návrhu a posouzení sloupů S2, S6, S8, S9, S11 a S12 se postupovalo stejně jako v případě sloupu S4. Z tohoto důvodu je zde výpočet popsán pouze zkráceně ve formě tabulek.

U těchto sloupů byla navržena stejná výztuž jako u skupiny sloupů č. 2 a většina výsledků se neliší. Proto jsou zde vloženy pouze tabulky s výsledky, které nemají shodnou hodnotu s tabulkami v kapitole 6.7.1.

Geometrie

$b = 400 \text{ mm}$ šířka sloupu

$h = 400 \text{ mm}$ výška sloupu

$l = 4,1 \text{ m}$ délka sloupu

6.9.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

Směr y

$$M_{y,max} = -41,41 \text{ kNm}$$

$$N_{přísl} = -646,43 \text{ kN}$$

$$N_{max} = -994,93 \text{ kN}$$

$$M_{y,přísl} = 7,02 \text{ kNm}$$

Směr z

$$M_{y,max} = -32,29 \text{ kNm}$$

$$N_{přísl} = -681,78 \text{ kN}$$

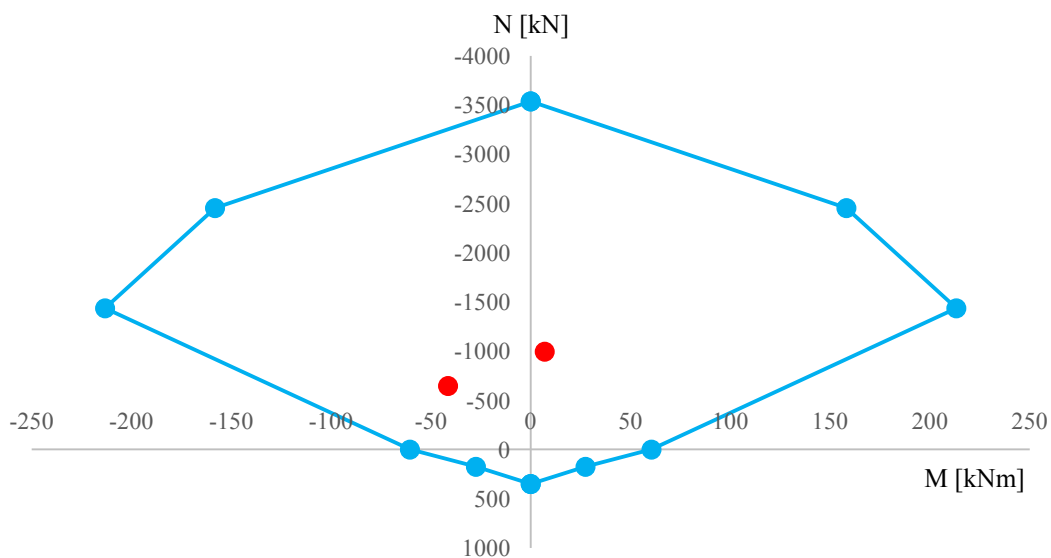
$$N_{max} = -994,93 \text{ kN}$$

$$M_{y,přísl} = 20,73 \text{ kNm}$$

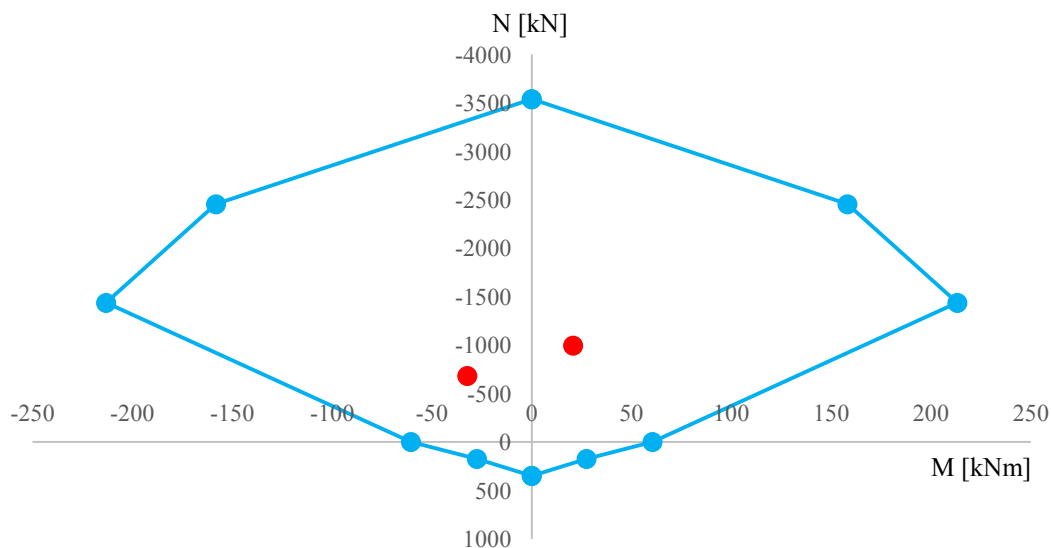
Návrh a posouzení výztuže

směr	štíhlost pro N_{max}			štíhlost pro M_{max}		
	λ [-]	λ_{lim} [-]	posouzení	λ [-]	λ_{lim} [-]	posouzení
y	20,981	98,589	vyhovuje	20,981	96,272	vyhovuje
z	20,981	88,842	vyhovuje	20,981	95,147	vyhovuje

Tabulka 6.46 - Posouzení štíhlosti



Obrázek 6.7 - Interakční diagram (směr y)



Obrázek 6.8 - Interakční diagram (směr z)

Posuzované kombinace momentu a normálové síly ve směru osy y a osy z leží v ploše interakčního digramu, což znamená, že navrhovaná výztuž vyhovuje.

Konstrukční zásady

směr	A_s [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]	posouzení	$A_{s,min}$ [mm ²]	posouzení
y, z	804,25	6400	vyhovuje	228,83	vyhovuje

Tabulka 6.47 - Vzdálenost výztuže (hl. podélná výztuž)

6.10 ZTUŽUJÍCÍ JÁDRO

Ve stěnách jádra vznikají přibližně stejně velké vnitřní síly, tudíž je navržena shodná výztuž pro všechny stěny. U stěn se navrhuje stejná výztuž k oběma povrchům, z toho důvodu se vybrala z hodnot vnitřních sil na kladném a záporném povrchu ta větší a na tu se výztuž posoudila.

V místech napojení průvlaků na jádro vznikají extrémní vnitřní síly, které budou zachyceny příloškami.

Geometrie

$b = 1000 \text{ mm}$	šířka stěny
$h = 200 \text{ mm}$	tloušťka stěny
$v = 4,1 \text{ m}$	výška stěny

6.10.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

$m_{y,max} = 5,96 \text{ kNm/m}$	$n_{max} = -82,25 \text{ kN/m}$
$n_{přísl} = -15,31 \text{ kN/m}$	$m_{y,přísl} = 4,34 \text{ kNm/m}$

6.10.1.1 Návrh a posouzení výztuže

Návrh výztuže

<i>Svislá výztuž</i>		<i>Vodorovná výztuž</i>	
$\emptyset_s = 14 \text{ mm}$	průměr výztuže	$\emptyset_v = 10 \text{ mm}$	průměr výztuže
$s_s = 150 \text{ mm}$	osová vzdálenost výztuže	$s_v = 300 \text{ mm}$	osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

Svislá výztuž

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$	přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton
----------------------------------	---

$$\begin{aligned}
c_{min,b} &= \varnothing_s = 14 \text{ mm} && \text{min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti} \\
c_{min,dur} &= 15 \text{ mm} && \text{min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1} \\
\Delta c_{dur,\gamma} &= 0 \text{ mm} && \text{přídavná bezpečnostní složka} \\
\Delta c_{dur,st} &= 0 \text{ mm} && \text{redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli} \\
\Delta c_{dur,add} &= 0 \text{ mm} && \text{redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany} \\
c_{min,1} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm} \\
c_{min,2} &= c_{min,v} + \varnothing_v = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \\
c_{min} &= \max\{c_{min,1}; c_{min,2}\} = \max\{15; 25\} = 25 \text{ mm} && \text{min. krycí vrstva} \\
c_{nom} &= c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35 \text{ mm} && \text{krycí vrstva}
\end{aligned}$$

Vodorovná výztuž

$$\begin{aligned}
\Delta c_{dev} &= 10 \text{ mm} && \text{přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton} \\
c_{min,b} &= \varnothing_v = 10 \text{ mm} && \text{min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti} \\
c_{min,dur} &= 15 \text{ mm} && \text{min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1} \\
\Delta c_{dur,\gamma} &= 0 \text{ mm} && \text{přídavná bezpečnostní složka} \\
\Delta c_{dur,st} &= 0 \text{ mm} && \text{redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli} \\
\Delta c_{dur,add} &= 0 \text{ mm} && \text{redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany} \\
c_{min} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm} \\
c_{nom} &= c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} && \text{krycí vrstva}
\end{aligned}$$

Návrh výztuže

$$\begin{aligned}
d &= h - c_{nom} - \varnothing/2 = 200 - 35 - 14/2 = 158 \text{ mm} && \text{účinná výška průřezu} \\
d_2 &= c_{nom} + \varnothing/2 = 35 + 14/2 = 42 \text{ mm} \\
z_1 &= z_2 = h/2 - c_{nom} - \varnothing/2 = 200/2 - 35 + 14/2 = 58 \text{ mm} && \text{rameno vnitřních sil} \\
A_{s1} &= A_{s2} = \frac{1,0}{s_s} \cdot (\pi \cdot \varnothing^2/4) = \frac{1,0}{0,15} \cdot (\pi \cdot 14^2/4) = 1026,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 && \text{plocha výztuže} \\
A_c &= b \cdot h = 1,0 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ m}^2 && \text{plocha betonu} \\
F_{s1} &= F_{s2} = A_{s1,2} \cdot f_{yd} = 1026,25 \cdot 434,78 = 446,20 \text{ kN} && \text{síla, kterou přenesou výztuže}
\end{aligned}$$

Ověření štíhlosti sloupu - max. normálová síla

Skutečná štíhlost

$$l_{max} = 4,1 \text{ m} \quad \text{délka sloupu}$$

$$k_1 = k_2 = 0,1 \quad \text{poměrná poddajnost v natočení konců prutu, pro vetknutí}$$

$$l_0 = 0,5 \cdot l_{max} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45+k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45+k_2}\right)} = 2,423 \text{ m} \quad \text{účinná délka}$$

$$i = \sqrt{\frac{1/12 \cdot b \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,2^3}{1,0 \cdot 0,2}} = 0,289 \quad \text{poloměr setrvačnosti beton. průřezu bez trhlin}$$

$$\lambda = l_0/i = 2,423/0,289 = 8,393 \quad \text{štíhlost}$$

Limitní štíhlost

$$M_{01} = -0,23 \text{ kNm/m} \quad |M_{01}| \geq |M_{02}| \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$M_{02} = 0,12 \text{ kNm/m} \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$N_{Ed} = -82,25 \text{ kN/m} \quad \text{maximální normálová síla}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 1026,25 \cdot 434,78}{200000 \cdot 20} = 0,223 \quad \text{mechanický stupeň vyztužení}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{82250}{200000 \cdot 20} = 0,021 \quad \text{poměrná normálová síla}$$

$$r_m = M_{01}/M_{02} = -0,23/0,12 = -1,92 \quad \text{poměr momentů}$$

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,223} = 1,203$$

$$C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,203 \cdot 0,7}{\sqrt{0,021}} = 82,187 \quad \text{limitní štíhlost}$$

$$\lambda = 8,393 \leq \lambda_{lim} = 82,187 \rightarrow \text{VYHOVUJE, lze upustit od posouzení na vzpěr}$$

Ověření štíhlosti sloupu - max. ohybový moment

Skutečná štíhlost

$$l_{max} = 4,1 \text{ m} \quad \text{délka sloupu}$$

$$k_1 = k_2 = 0,1 \quad \text{poměrná poddajnost v natočení konců prutu, pro vetknutí}$$

$$l_0 = 0,5 \cdot l_{max} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45+k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45+k_2}\right)} = 2,423 \text{ m} \quad \text{účinná délka}$$

$$i = \sqrt{\frac{1/12 \cdot b \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{1/12 \cdot 1,0 \cdot 0,2^3}{1,0 \cdot 0,2}} = 0,289 \quad \text{poloměr setrvačnosti beton. průřezu bez trhlin}$$

$$\lambda = l_0/i = 2,363/0,017 = 8,393 \quad \text{štíhlost}$$

Limitní štíhlost

$$M_{01} = -0,23 \text{ kNm/m} \quad |M_{01}| \geq |M_{02}| \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$M_{02} = 0,12 \text{ kNm/m} \quad \text{koncový moment 1. řádu, v patě / hlavě sloupu}$$

$$N_{přisl} = -15,31 \text{ kN/m} \quad \text{příslušná normálová síla}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 1026,25 \cdot 434,78}{200000 \cdot 20} = 0,223 \quad \text{mechanický stupeň vyztužení}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{15310}{200000 \cdot 20} = 0,004 \quad \text{poměrná normálová síla}$$

$$r_m = M_{01}/M_{02} = -0,23/0,12 = -1,92 \quad \text{poměr momentů}$$

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,223} = 1,203$$

$$C = 0,7$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,203 \cdot 0,7}{\sqrt{0,004}} = 190,494 \quad \text{limitní štíhlost}$$

$$\lambda = 8,393 \leq \lambda_{lim} = 190,494 \rightarrow \text{VYHOVUJE, lze upustit od posouzení na vzpěr}$$

Interakční diagram

$$\lambda = 0,8 \quad \text{součinitel definující účinnou výšku tlač. oblasti}$$

$$\eta = 1,0 \quad \text{součinitel definující účinnou pevnost}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,628$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,17} = 2,448$$

Bod 0

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_{c2} = 210 \cdot 10^9 \cdot 0,002 = 420 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \rightarrow \text{brát napětí } \sigma_s$$

$$n_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + \sum A_s \cdot \sigma_s) = -(1,0 \cdot 0,2 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + 2 \cdot 1,026 \cdot 420 \cdot 10^6) = \\ = -4862,05 \text{ kN/m}$$

$$m_{Rd0} = (A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 - A_{s1} \cdot \sigma_s \cdot z_1) = 420 \cdot 10^6 \cdot (1,026 \cdot 0,058 - 1,026 \cdot 0,058) = \\ = 0 \text{ kNm/m}$$

Bod 1

$$\begin{aligned}n_{Rd1} &= -(\lambda \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_s) = \\&= -(0,8 \cdot 0,158 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + 1,026 \cdot 420 \cdot 10^6) = -2959,03 \text{ kN/m} \\m_{Rd1} &= \lambda \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 = 0,8 \cdot 0,158 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot \\&\cdot (0,2 - 0,8 \cdot 0,158) + 446,20 \cdot 10^3 \cdot 0,058 = 118,91 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

Bod 2

$$\begin{aligned}n_{Rd,bal} &= -(\lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Delta F_s) = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,158 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 + \\&+ 446,20 \cdot 10^3 - 446,20 \cdot 10^3) = -1588,40 \text{ kN/m} \\m_{Rd,bal} &= -\lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 + F_{s1} \cdot z_1 = \\&= -0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,158 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,2 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,158) + \\&+ 446,20 \cdot 10^3 \cdot 0,058 + 446,20 \cdot 10^3 \cdot 0,058 = 147,52 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

Bod 3

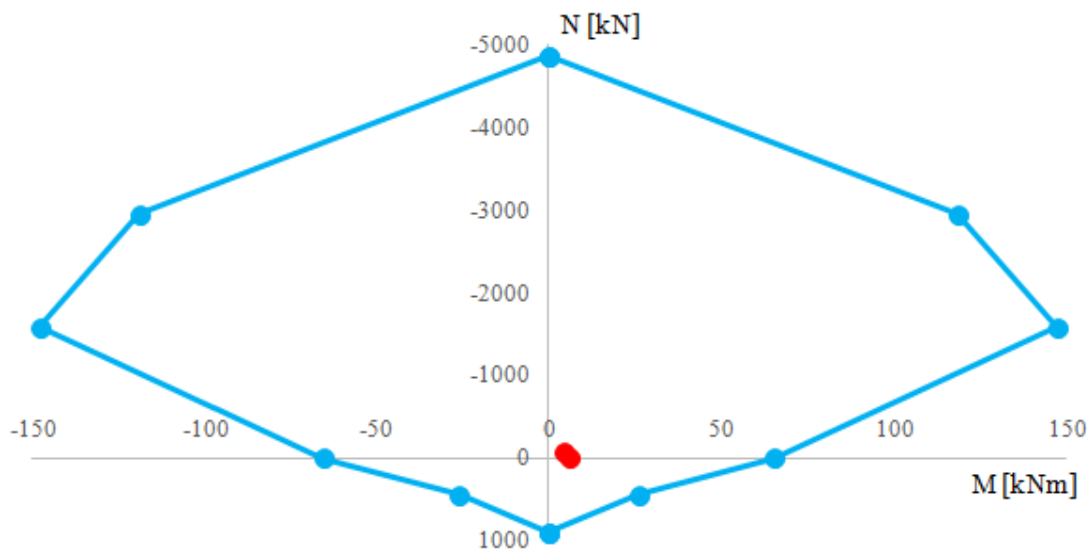
$$\begin{aligned}n_{Rd} &= 0 \text{ kN/m} \\x &= \frac{F_{s1}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{446,20 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,028 \text{ m} \\m_{Rd} &= F_{s1} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 446,20 \cdot 10^3 \cdot (0,158 - 0,4 \cdot 0,028) = 65,52 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

Bod 4

$$\begin{aligned}n_{Rdt,bal} &= F_{s1} = 446,20 \text{ kN/m} \\m_{Rdt,bal} &= F_{s1} \cdot z_1 = 446,20 \cdot 10^3 \cdot 0,058 = 25,88 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

Bod 5

$$\begin{aligned}n_{Rdt0} &= F_{s1} + F_{s1} = 446,20 \cdot 10^3 + 446,20 \cdot 10^3 = 892,39 \text{ kN/m} \\m_{Rdt0} &= F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 446,20 \cdot 10^3 \cdot 0,058 - 446,20 \cdot 10^3 \cdot 0,058 = 0 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$



Obrázek 6.9 - Interakční diagram

Obě posuzované kombinace momentu a normálové síly leží v ploše interakčního digramu, což znamená, že navrhovaná výztuž vyhovuje.

Konstrukční zásady - svislá výztuž

Minimální průměr výztuže

$$\phi_{min} = 8 \text{ mm} \leq \phi = 14 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 0,2 = 0,0004 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0004 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,002053 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití tažené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,028}{0,158} = 0,177 \leq \xi_{bal,1} = 0,628 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití tlačené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{0,028}{0,042} = 0,664 \geq \xi_{bal,1} = 0,628 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min\{3 \cdot h; 400\} = \min\{3 \cdot 200; 400\} = 400 \text{ mm} \geq s_s = 150 \text{ mm}$$

$\rightarrow \text{VYHOVUJE}$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 14; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{s,světla} = s_s - \emptyset = 150 - 14 = 136 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na průměru prutu, pro } \emptyset \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa} \quad \text{mezí napětí v soudržnosti}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhové napětí v prutu v místě ukotvení}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 507 \text{ mm} \doteq 510 \text{ mm} \quad \text{zákl. požadovaná kotevní délka}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy}$$

$$\alpha_3 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží}$$

$$\alpha_4 = 0,7 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů}$$

$$\alpha_5 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 510 = 357 \text{ mm} \doteq 360 \text{ mm}$$

$$\rightarrow l_{bd} \cdot 1,5 = 360 \cdot 1,5 = 540 \text{ mm} \quad \text{návrhová kotevní délka}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 510; 10 \cdot 14; 100\} = 153 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = 153 \text{ mm} \leq l_{bd} = 540 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka svislé výztuže u stěn byla zvětšena o 50%, protože při betonáži takovýchto vysokých prvků se může stát, že ve střední části nedojde k dostatečnému zhutnění betonu a původní kotevní délka může být nedostatečná.

Konstrukční zásady - vodorovná výztuž

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max\{0,25 \cdot A_s; 0,001 \cdot A_c\} = \max\{0,25 \cdot 0,002052; 0,001 \cdot 0,2\} = 0,00051 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,00051 \text{ m}^2 \leq A_{s,v} = 0,000524 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \leq s_v = 300 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na průměru prutu, pro } \varnothing \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa} \quad \text{mezni napětí v soudržnosti}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhové napětí v prutu v místě ukotvení}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm} \quad \text{zákl. požadovaná kotevní délka}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy}$$

$$\alpha_3 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží}$$

$$\alpha_4 = 0,7 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů}$$

$$\alpha_5 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$$

$$\rightarrow l_{bd} \cdot 1,5 = 260 \cdot 1,5 = 390 \text{ mm} \quad \text{návrhová kotevní délka}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 390 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka vodorovné výztuže u stěn byla zvětšena o 50%, protože při betonáži takovýchto vysokých prvků se může stát, že ve střední části nedojde k dostatečnému zhutnění betonu a původní kotevní délka může být nedostatečná.

Příčná výztuž

Příčná výztuž ve formě spon musí být navržena v jakékoliv části stěny, ve které je celková plocha svislé výztuže větší než 2% plochy betonového průřezu.

Byly navrženy 4 spony Ø8 na 1 m².

Příložky

V rozích stěn jsou navrženy ve svislém i vodorovném směru příložky, protože v těchto místech vznikají extrémní vnitřní síly.

Navržená výztuž

$\varnothing_{s,p} = 14 \text{ mm}$ průměr výztuže

$\varnothing_{v,p} = 10 \text{ mm}$ průměr výztuže

$n_{s,p} = 4 \text{ ks}$ počet kusů

$s_{v,p} = 150 \text{ mm}$ osová vzdálenost výztuže

6.11 SCHODIŠTĚ - RAMENA A MEZIPODESTY

V rámci zjednodušení výpočtu a pracnosti provádění byla k dolnímu i hornímu povrchu schodišťových desek navržena jednotná výztuž.

Ve všech schodišťových ramenech vycházejí přibližně stejně velké momenty, proto se navrhla jednotná výztuž pro všechna ramena.

Momenty vznikající v mezipodestách nabývají podobných hodnot jako ve schodišťových ramenech, tudíž je možné započítat tyto desky do posudku schodišťových ramen. Podélná výztuž, která se navrhla pro ramena, bude tvořit výztuž mezipodest ve směru x i y, neboť mezipodesta podporuje navzájem kolmá ramena. Podesta v úrovni stropních desek byla posouzena zvlášť.

V rozích podest u výtahové šachty vznikají lokální extrémy, kvůli kterým se průměr krajního podélného prutu ve schodišťových ramenech zvýšil na 14 mm. Tato výztuž zajistí zvýšenou únosnost schodiště v místě zvětšených momentů, které zde mohou nastat. Nicméně ve výpočtu je krajní prut výztuže počítán se stejným průměrem jako zbytek navržené výztuže.

Geometrie

$b = 1,5 \text{ m}$	šířka schodišťového ramene
$h = 0,2 \text{ m}$	tloušťka schodišťového ramene
$l = 3,49 \text{ m}$	délka schodišťového ramene

6.11.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

$m_{Ed,x}^+ = 2,59 \text{ kNm/m}$	návrhový moment v příčném směru, kladný povrch
$m_{Ed,x}^- = 2,09 \text{ kNm/m}$	návrhový moment v příčném směru, záporný povrch
$m_{Ed,y}^+ = 4,89 \text{ kNm/m}$	návrhový moment v podélném směru, kladný povrch
$m_{Ed,y}^- = 10,39 \text{ kNm/m}$	návrhový moment v podélném směru, záporný povrch

6.11.1.1 Návrh a posouzení ohybové výztuže (podélný směr)

Návrh výztuže (hlavní podélná výztuž)

$\varnothing = 10 \text{ mm}$ průměr výztuže

$n = 7 \text{ ks}$ počet kusů

Krytí výztuže

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton

$c_{min,b} = \varnothing = 10 \text{ mm}$ min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti

$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$ min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1

$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$ přídavná bezpečnostní složka

$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$ redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$

$c_{min,2} = c_{min,r} + \varnothing_r = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$

$c_{min} = \max\{c_{min,1}; c_{min,2}\} = \max\{15; 23\} = 23$

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 23 + 10 = 33 \text{ mm} \doteq 35 \text{ mm}$ krycí vrstva

Posouzení výztuže

$d = h - c_{nom} - \varnothing/2 = 200 - 35 - 10/2 = 160 \text{ mm}$ účinná výška průřezu

$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 549,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ plocha tahové výztuže

$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 549,78 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 239,03 \text{ kN}$ síla, kterou přeneše výztuž

$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{239,03 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,010 \text{ m}$ výška tlačené oblasti

$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 239,03 \cdot (0,160 - 0,4 \cdot 0,010) = 37,29 \text{ kNm/m}$

$m_{Ed} = 10,39 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 37,29 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1,5 = 0,012 \text{ m}^2$ maximální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b \cdot d}{0,0013 \cdot b \cdot d} \right\} = \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,9 / 500 \cdot 1,5 \cdot 0,16}{0,0013 \cdot 1,5 \cdot 0,16} \right\} = 0,00036 \text{ m}^2$$

minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = 0,00038 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,00055 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,012 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,010}{0,160} = 0,062 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

ξ ... součinitel charakterizující poměrnou výšku tlačené oblasti

ξ_{lim} ... poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

Vzdálenost výztuže

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - \emptyset}{n - 1} = \frac{1500 - 2 \cdot 35 - 10}{7 - 1} = 237 \text{ mm} \quad \text{osová vzdálenost výztuže}$$

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250\} = \min\{2 \cdot 200; 250\} = 250 \text{ mm} \geq s = 237 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$k_1 = 1,2$$

$$k_2 = 5 \text{ mm}$$

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

max. velikost zrna kameniva

$$s_{světla} = s - \emptyset = 237 - 10 = 227 \text{ mm} \quad \text{světla vzdálenost mezi pruty}$$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{světla} = 227 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.}$$

$$\eta_2 = 1,0 \quad \text{součinitel závislý na průměru prutu, pro } \emptyset \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa} \quad \text{mezní napětí v soudržnosti}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhové napětí v prutu v místě ukotvení}$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm} \quad \text{zákl. požadovaná kotevní délka}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy}$$

$$\alpha_3 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží}$$

$$\alpha_4 = 0,7 \quad \text{součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů}$$

$$\alpha_5 = 1,0 \quad \text{součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$$

návrhová kotevní délka

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$$

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 260 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.11.1.2 Návrh a posouzení ohybové výztuže (příčný směr)

Návrh výztuže (rozdělovací výztuž)

$$\emptyset_r = 8 \text{ mm} \quad \text{průměr výztuže}$$

$$s_r = 300 \text{ mm} \quad \text{osová vzdálenost výztuže}$$

Krytí výztuže

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad \text{přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 8 \text{ mm} \quad \text{min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm} \quad \text{min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm} \quad \text{přídavná bezpečnostní složka}$$

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm} \quad \text{redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm} \quad \text{redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Posouzení výztuže

$$d_r = h - c_{nom} - \emptyset_r/2 = 200 - 25 - 8/2 = 171 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$A_{s,r} = \frac{1,0}{s_r} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{1,0}{0,3} \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 167,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{plocha rozdělovací výztuže}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 167,55 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 72,85 \text{ kN} \quad \text{síla, kterou přenesou výztuže}$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{72,85 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,003 \text{ m} \quad \text{výška tlačené oblasti}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 72,85 \cdot (0,161 - 0,4 \cdot 0,003) = 12,37 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed} = 2,59 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 12,37 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot 549,78 \cdot 10^{-6} / 1,5 = 0,000073 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,000073 \text{ m}^2 \leq A_{s,r} = 0,000168 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min\{3 \cdot h; 400\} = \min\{3 \cdot 200; 400\} = 400 \text{ mm} \geq s = 300 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.11.2 Mezní stav použitelnosti

Účinky zatížení

$$\begin{aligned} m_{char} &= 3,49 \text{ kNm/m} && \text{maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci} \\ m_{kqp} &= 2,67 \text{ kNm/m} && \text{maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci} \end{aligned}$$

6.11.2.1 Omezení napětí

Ideální průřez bez trhlin

$$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 210/32 = 6,563 \quad \text{poměr modulů pružnosti}$$

$$A_s = 0,00055 \text{ m}^2 \quad \text{plocha dolní podélné výztuže}$$

$$d = 0,160 \text{ m} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$A_i = b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot A_s = 1,5 \cdot 0,2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00055 = 0,303058 \text{ m}^2$$

plocha ideálního průřezu

$$a_{gi} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot d}{A_i} = \frac{0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,2^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00055 \cdot 0,17}{0,303058} = 0,101 \text{ m}$$

vzdálenost neutrálné osy ideálního průřezu

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (a_{gi} - 0,5 \cdot h)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2 = \frac{1,5 \cdot 0,2^3}{12} + 1,5 \cdot 0,2 \cdot \\ &\cdot (0,101 - 0,5 \cdot 0,2)^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00055 \cdot (0,16 - 0,101)^2 = 0,001011 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$m_{cr} = \frac{I_i \cdot f_{ctm}}{(h - a_{gi})} = \frac{0,001011 \cdot 2,9}{(0,2 - 0,101)} = 29,49 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 3,49 \text{ kNm/m}$$

→ TRHLINY NEVZNIKNOU

Kontrola napětí

$$\sigma_{c1} = \frac{m_{kqp} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{2,67 \cdot (0,2 - 0,101)}{0,001011} = 0,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} = 0,26 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.11.2.2 Omezení šířky trhlin

Tato železobetonová deska není namáhána významnou normálovou silou, pouze ohybem. Z tohoto důvodu není nutné provést speciální opatření pro omezení šířky trhlin, protože jsou splněny všechny konstrukční zásady a tloušťka desky nepřekračuje 200 mm.

6.11.2.3 Omezení průhybu

$l = 3490 \text{ mm}$ max. rozpětí schodišťové desky

$d = 160 \text{ mm}$ účinná výška průřezu (dolní výztuž)

$A_s = 549,78 \text{ mm}^2$ plocha výztuže (dolní výztuž)

$K = 1,5$ koeficient zohledňující konstrukční systém

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{549,78}{1500 \cdot 160} = 0,00229$ geometrický stupeň vyztužení tah. výztuží

$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 0,00548$ referenční stupeň vyztužení

$\rho \leq \rho_0 \rightarrow$ výpočet $\frac{l}{d}$ se provede podle vzorce:

$$\begin{aligned} \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} &= K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] = \\ &= 1,5 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{0,00548}{0,00229} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{0,00548}{0,00229} - 1\right)^{3/2} \right] = 89,10 \end{aligned}$$

$\frac{l}{d} = \frac{3490}{160} = 21,81 \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 89,10 \rightarrow \text{VYHOVUJE, není nutné počítat průhyb}$

6.12 SCHODIŠTĚ - PODESTA

Geometrie

$b = 1,0 \text{ m}$	šířka podesty
$h = 0,2 \text{ m}$	tloušťka podesty
$l_x = 1,86 \text{ m}$	délka podesty ve směru x
$l_y = 5,0 \text{ m}$	délka podesty ve směru y

6.12.1 Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení

<i>Směr x</i>	<i>Směr y</i>
$m_{Ed,x}^+ = 3,25 \text{ kNm/m}$	$m_{Ed,y}^+ = 2,28 \text{ kNm/m}$
$m_{Ed,x}^- = 4,72 \text{ kNm/m}$	$m_{Ed,y}^- = 2,42 \text{ kNm/m}$

6.12.1.1 Návrh a posouzení ohybové výztuže (směr x)

Návrh výztuže

$\emptyset = 10 \text{ mm}$	průměr výztuže
$s = 250 \text{ mm}$	osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$	přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton
$c_{min,b} = \emptyset = 10 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$	min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1
$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$	přídavná bezpečnostní složka
$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$	redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany
$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$	
minimální krycí vrstva	
$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$	
krycí vrstva	

Posouzení výztuže

$$\begin{aligned}d &= h - c_{nom} - \phi/2 = 200 - 25 - 10/2 = 170 \text{ mm} && \text{účinná výška průřezu} \\A_s &= \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{1}{0,25} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 314,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 && \text{plocha tahové výztuže} \\F_s &= A_s \cdot f_{yd} = 314,16 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 136,59 \text{ kN} && \text{síla, kterou přenesou výztuže} \\x &= \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{136,59 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0085 \text{ m} && \text{výška tlačené oblasti} \\m_{Rd} &= F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 136,59 \cdot (0,170 - 0,4 \cdot 0,0085) = 22,27 \text{ kNm/m} \\m_{Ed} &= 4,72 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 22,27 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE} && \text{únosnost průřezu}\end{aligned}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned}A_{s,max} &= 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1,0 = 0,008 \text{ m}^2 && \text{maximální plocha výztuže} \\A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d \right\} = \left\{ \frac{0,26 \cdot 2,9}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,17; 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,17 \right\} = 0,00026 \text{ m}^2 \\&&& \text{minimální plocha výztuže} \\A_{s,min} &= 0,00026 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,00031 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{x}{d} = \frac{0,0085}{0,170} = 0,050 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \\&&& \xi \dots \text{součinitel charakterizující poměrnou výšku tlačené oblasti} \\&&& \xi_{lim} \dots \text{poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži}\end{aligned}$$

Vzdálenost výztuže

$$\begin{aligned}s_{max} &= \min\{2 \cdot h; 250\} = \min\{2 \cdot 200; 250\} = 250 \text{ mm} \geq s = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \\k_1 &= 1,2 && \text{max. osová vzdálenost výztuže} \\k_2 &= 5 \text{ mm} \\d_g &= 16 \text{ mm} && \text{max. velikost zrna kameniva} \\s_{min} &= \max\{k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm} \\&&& \text{min. světlá vzdálenost mezi pruty} \\s_{min} &= 21 \text{ mm} \leq s_{světla} = s - \phi = 250 - 10 = 240 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Kotevní délka

$\eta_1 = 1,0$ součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.

$\eta_2 = 1,0$ součinitel závislý na průměru prutu, pro $\varnothing \leq 32 \text{ mm}$

$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$ mezní napětí v soudržnosti

$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$ návrhové napětí v prutu v místě ukotvení

$l_{bd,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm}$ zákl. požadovaná kotevní délka

$\alpha_1 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut

$\alpha_2 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy

$\alpha_3 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží

$\alpha_4 = 0,7$ součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů

$\alpha_5 = 1,0$ součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu

$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$

návrhová kotevní délka

$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$

minimální kotevní délka

$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 260 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

6.12.1.2 Návrh a posouzení ohybové výztuže (směr y)

Návrh výztuže

$\varnothing = 10 \text{ mm}$ průměr výztuže

$s = 250 \text{ mm}$ osová vzdálenost výztuže

Krytí výztuže

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ přídavek na návrhovou odchylku, pro monolitický beton

$c_{min,b} = \varnothing = 10 \text{ mm}$ min. krycí vrstva z hlediska soudržnosti

$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$ min. krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí, pro S4 a XC1

$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$ přídavná bezpečnostní složka

$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$ redukce min. krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ redukce min. krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \quad \text{krycí vrstva}$$

Posouzení výztuže

$$d = h - c_{nom} - \phi/2 - \phi_x = 200 - 25 - 10/2 - 10 = 160 \text{ mm} \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{1}{0,25} \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 314,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{plocha tahové výztuže}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 314,16 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 136,59 \text{ kN} \quad \text{síla, kterou přenesou výztuže}$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{136,59 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0085 \text{ m} \quad \text{výška tlačené oblasti}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 136,59 \cdot (0,160 - 0,4 \cdot 0,0085) = 21,39 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed} = 2,42 \text{ kNm/m} \leq m_{Rd} = 21,39 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad \text{únosnost průřezu}$$

Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1,0 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \max\left\{\frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d\right\} = \max\left\{\frac{0,26 \cdot 2,9/500}{f_{yk}} \cdot 1,0 \cdot 0,16; 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,16\right\} = 0,00024 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,00024 \text{ m}^2 \leq A_s = 0,00031 \text{ m}^2 \leq A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Omezení výšky tažené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0085}{0,160} = 0,053 \leq \xi_{lim} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250\} = \min\{2 \cdot 200; 250\} = 250 \text{ mm} \geq s = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$k_1 = 1,2 \quad k_2 = 5 \text{ mm} \quad d_g = 16 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 20\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{světla} = s - \phi = 250 - 10 = 240 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délka

$\eta_1 = 1,0$ součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti, pro dobré podm.

$\eta_2 = 1,0$ součinitel závislý na průměru prutu, pro $\varnothing \leq 32 \text{ mm}$

$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$ mezní napětí v soudržnosti

$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$ návrhové napětí v prutu v místě ukotvení

$l_{bd,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362 \text{ mm} \doteq 370 \text{ mm}$ zákl. požadovaná kotevní délka

$\alpha_1 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv tvaru prutu, pro přímý prut

$\alpha_2 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv min. betonové krycí vrstvy

$\alpha_3 = 1,0$ součinitel vyjadřující vliv ovinutí příčnou výztuží

$\alpha_4 = 0,7$ součinitel vyjadřující vliv jednoho / více příčně přivařených prutů

$\alpha_5 = 1,0$ součinitel vyjadř. vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu

$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 370 = 259 \text{ mm} \doteq 260 \text{ mm}$

návrhová kotevní délka

$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{bd,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100\} = \max\{0,3 \cdot 370; 10 \cdot 10; 100\} = 111 \text{ mm}$

minimální kotevní délka

$l_{b,min} = 111 \text{ mm} \leq l_{bd} = 260 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

6.12.2 Mezní stav použitelnosti

6.12.2.1 Omezení napětí

Směr x

Účinky zatížení

$m_{char} = 2,31 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci

$m_{kqp} = 1,74 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci

Ideální průřez bez trhlin

$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 210/32 = 6,563$ poměr modulů pružnosti

$A_s = 0,00031 \text{ m}^2$ plocha výztuže ve směru x

$d = 0,170 \text{ m}$ účinná výška průřezu

$A_i = b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot A_s = 1,0 \cdot 0,2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00031 = 0,201748 \text{ m}^2$

plocha ideálního průřezu

$a_{gi} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot d}{A_i} = \frac{0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,2^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00031 \cdot 0,17}{0,201748} = 0,101 \text{ m}$

vzdálenost neutrálné osy ideálního průřezu

$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (a_{gi} - 0,5 \cdot h)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2 = \frac{1,0 \cdot 0,2^3}{12} + 1,0 \cdot 0,2 \cdot (0,101 - 0,5 \cdot 0,2)^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00031 \cdot (0,17 - 0,101)^2 = 0,000675 \text{ m}^4$

moment setrvačnosti ideálního průřezu

$m_{cr} = \frac{I_i \cdot f_{ctm}}{(h - a_{gi})} = \frac{0,000675 \cdot 2,9}{(0,2 - 0,101)} = 19,70 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 2,31 \text{ kNm/m}$

→ TRHLINY NEVZNIKNOU

Kontrola napětí

$\sigma_{c1} = \frac{m_{kqp} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{1,74 \cdot (0,2 - 0,101)}{0,000675} = 0,34 \text{ MPa}$

$\sigma_{c1} = 0,34 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Směr y

Účinky zatížení

$m_{char} = 1,63 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro charakteristickou kombinaci

$m_{kqp} = 1,24 \text{ kNm/m}$ maximální ohybový moment pro kvazistálou kombinaci

Ideální průřez bez trhlin

$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 210/32 = 6,563$ poměr modulů pružnosti

$A_s = 0,00031 \text{ m}^2$ plocha výztuže ve směru y

$d = 0,160 \text{ m}$ účinná výška průřezu

$A_i = b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot A_s = 1,0 \cdot 0,2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00031 = 0,201748 \text{ m}^2$

plocha ideálního průřezu

$a_{gi} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot d}{A_i} = \frac{0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,2^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00031 \cdot 0,16}{0,201748} = 0,101 \text{ m}$

vzdálenost neutrálné osy ideálního průřezu

$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (a_{gi} - 0,5 \cdot h)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot (d - a_{gi})^2 = \frac{1,0 \cdot 0,2^3}{12} + 1,0 \cdot 0,2 \cdot$

$\cdot (0,101 - 0,5 \cdot 0,2)^2 + (6,563 - 1) \cdot 0,00031 \cdot (0,17 - 0,101) = 0,000673 \text{ m}^4$

moment setrvačnosti ideálního průřezu

$m_{cr} = \frac{I_i \cdot f_{ctm}}{(h - a_{gi})} = \frac{0,000673 \cdot 2,9}{(0,2 - 0,101)} = 19,62 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 1,63 \text{ kNm/m}$

→ TRHLINY NEVZNIKNOU

Kontrola napětí

$\sigma_{c1} = \frac{m_{kqp} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} = \frac{1,24 \cdot (0,2 - 0,101)}{0,000673} = 0,24 \text{ MPa}$

$\sigma_{c1} = 0,24 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

6.12.2.2 Omezení šířky trhlin

Tato železobetonová deska není namáhána významnou normálovou silou, pouze ohybem. Z tohoto důvodu není nutné provést speciální opatření pro omezení šířky trhlin, protože jsou splněny všechny konstrukční zásady a tloušťka desky nepřekračuje 200 mm.

6.12.2.3 Omezení průhybu

Směr x

$l = 1860 \text{ mm}$ max. rozpětí podesty ve směru x

$d = 170 \text{ mm}$ účinná výška průřezu

$A_s = 314,16 \text{ mm}^2$ plocha výztuže

$K = 1,5$ koeficient zohledňující konstrukční systém

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{314,16}{1000 \cdot 170} = 0,00185$ geometrický stupeň vyztužení tah. výztuží

$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 0,00548$ referenční stupeň vyztužení

$\rho \leq \rho_0 \rightarrow$ výpočet $\frac{l}{d}$ se provede podle vzorce:

$$\begin{aligned} \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} &= K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] = \\ &= 1,5 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{0,00548}{0,00185} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{0,00548}{0,00185} - 1\right)^{3/2} \right] = 125,38 \end{aligned}$$

$\frac{l}{d} = \frac{1860}{170} = 10,94 \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 125,38 \rightarrow \text{VYHOVUJE, není nutné počítat průhyb}$

Směr y

$l = 5000 \text{ mm}$ max. rozpětí podesty ve směru y

$d = 160 \text{ mm}$ účinná výška průřezu

$A_s = 314,16 \text{ mm}^2$ plocha výztuže

$K = 1,5$ koeficient zohledňující konstrukční systém

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{314,16}{1000 \cdot 160} = 0,00196$ geometrický stupeň vyztužení tah. výztuží

$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 0,00548$ referenční stupeň vyztužení

$\rho \leq \rho_0 \rightarrow$ výpočet $\frac{l}{d}$ se provede podle vzorce:

$$\begin{aligned} \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} &= K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] = \\ &= 1,5 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{0,00548}{0,00196} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{0,00548}{0,00196} - 1\right)^{3/2} \right] = 113,82 \end{aligned}$$

$\frac{l}{d} = \frac{5000}{160} = 31,25 \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 113,82 \rightarrow \text{VYHOVUJE, není nutné počítat průhyb}$

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vypracovat návrh a statické posouzení vybraných nosných prvků železobetonové monolitické konstrukce. Jako podklad posloužila projektová dokumentace zpracovaná v rámci bakalářské práce studentem Bc. Markem Výtiskem. Na rozdíl od původní dokumentace bylo upraveno konstrukční řešení objektu - například byly navrženy obousměrné průvlaky ve všech podlažích a zvětšil se průřez průvlaků umístěných po obvodu budovy pro zvýšení prostorové tuhosti objektu. Navržené konstrukční řešení splňuje požadavky platných norem.

Díky této práci jsem si prohloubila odborné znalosti v oblasti navrhování betonových konstrukcí a získala cenné zkušenosti, které věřím, že využiji ve své budoucí praxi.

Jsem vděčná, že po čtyřech letech studia architektury a dvou letech studia konstrukcí staveb, dokážu na problematiku nahlížet z obou úhlů pohledu - jako statik i jako architekt, díky čemuž si plně uvědomuji provázanost a důležitost spolupráce těchto dvou profesí.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Le Corbusier. *Archizone.cz: magazín o moderní i historické architektuře* [online]. 24. března 2018 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <http://www.archizone.cz/architekti/le-corbusier/>
- [2] Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009.
- [3] ČÍRTEK, Ladislav. *Betonové konstrukce I: Betonové konstrukce prutové*. Brno: VUTIUM, 2005.
- [4] KALOUSEK, Jan. *Nosné konstrukce I. Betonové konstrukce*. 5. vyd. Praha: ČVUT, 1989. ISBN 80-010-1347-2.
- [5] NEUMANN, Dietrich. *Stavební konstrukce I*. 33. (úplně přeprac. a rozš.vyd.), 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-807-6025-X.
- [6] HÁJEK, Petr. *Konstrukce pozemních staveb 10: nosné konstrukce*. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1396-0.
- [7] JIRKA, Vladimír. *Konstrukční systémy pozemních staveb* [online]. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: 15123.fk.cvut.cz/?download=_/predmet.ps1/s1_221-11.pdf
- [8] PEXOVÁ, Jana. *Skeletové konstrukční systémy* [online]. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15793103-Skeletove-konstrukcni-systemy.html>
- [9] Konstrukční systémy budov. *Vodohospodářská zařízení I* [online]. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/systemy/koordinace.html>
- [10] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1): *Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení staveb*. Praha: ČNI, 2004.
- [11] ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1): *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: ČNI, 2013.
- [12] ČSN EN 1991-1-4 (Eurokód 1): *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2013.
- [13] ČSN EN 1990 (Eurokód): *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2003.
- [14] ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2): *Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2005.

9 SEZNAM PŘÍLOH

9.1 VÝKRESY

01	Půdorys 1. NP	1:100
02	Půdorys 2. NP	1:100
03	Půdorys 3. NP	1:100
04	Řez A-A	1:100
05	Výkres výztuže desky nad 3. NP	1:50
06	Výkres výztuže průvlaků	1:50
07	Výkres výztuže sloupů	1:50
08	Výkres výztuže stěny ztužujícího jádra	1:50
09	Výkres výztuže schodiště	1:50
10	Detaily	1:10
11	Vizualizace	-

9.2 CD

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3.1 - Statické schéma (zděné stěny + dřevěné stropy).....	10
Obrázek 3.2 - Vývoj horizontálních nosných prvků	11
Obrázek 3.3 - Porovnání deformace a ohybové tuhosti stěny a sloupu při působení vodorovného zatížení	12
Obrázek 3.4 - Prvky skeletového konstrukčního systému	13
Obrázek 3.5 - Působící síly v konstrukci.....	13
Obrázek 3.6 - Skelet s podélnými trámy	14
Obrázek 3.7 - Skelet s příčnými rámy	15
Obrázek 3.8 - Skelet s obousměrnými rámy	15
Obrázek 3.9 - Hlavicový skelet	16
Obrázek 3.10 - Deskový skelet	16
Obrázek 3.11 - Příčný stěnový systém s podélnou ztužující stěnou	17
Obrázek 3.12 - Skeletový systém se dvěma jádry umístěnými symetricky	18
Obrázek 3.13 - Příklad dvoustupňového konstrukčního systému	19
Obrázek 4.1 - Šachovnicové rozmístění zatížení, varianta 1 a 2.....	26
Obrázek 4.2 - Mapa sněhových oblastí ČR.....	27
Obrázek 4.3 - Tvarový součinitel pro střechy přiléhající k vyšším stavbám	28
Obrázek 4.4 - Mapa větrných oblastí ČR.....	30
Obrázek 4.5 - Legenda pro svislé stěny	32
Obrázek 4.6 - Rozmístění zón na stěnách objektu (příčný vítr).....	33
Obrázek 4.7 - Rozmístění zón na stěnách objektu (podélný vítr).....	34
Obrázek 4.8 - Legenda pro ploché střechy	35
Obrázek 4.9 - Rozmístění zón na střeše objektu (příčný vítr)	36
Obrázek 4.10 - Rozmístění zón na střeše objektu (podélný vítr)	37
Obrázek 4.11 - Rozmístění zón na stěnách objektu (příčný vítr)	39
Obrázek 4.12 - Rozmístění zón na stěnách objektu (podélný vítr).....	40
Obrázek 4.13 - Rozmístění zón na střeše objektu (příčný vítr)	41
Obrázek 4.14 - Rozmístění zón na střeše objektu (podélný vítr)	42
Obrázek 5.1 - Model konstrukce	43
Obrázek 5.2 - Model desek a jejich označení.....	46
Obrázek 5.3 - Moment nad podporou, směr x.....	47

Obrázek 5.4 - Moment nad podporou, směr y.....	47
Obrázek 5.5 - Moment v poli, směr x	47
Obrázek 5.6 - Moment v poli, směr y	47
Obrázek 5.7 - Moment nad podporou, směr x.....	47
Obrázek 5.8 - Moment nad podporou, směr y.....	48
Obrázek 5.9 - Moment v poli, směr x	48
Obrázek 5.10 - Moment v poli, směr y	48
Obrázek 5.11 - Moment nad podporou, směr x.....	48
Obrázek 5.12 - Moment nad podporou, směr y.....	48
Obrázek 5.13 - Moment v poli, směr x	49
Obrázek 5.14 - Moment v poli, směr y	49
Obrázek 5.15 - Moment nad podporou, směr x.....	49
Obrázek 5.16 - Moment nad podporou, směr y.....	49
Obrázek 5.17 - Moment v poli, směr x	49
Obrázek 5.18 - Moment v poli, směr y	49
Obrázek 5.19 - Model průvlaků	50
Obrázek 5.20 - Označení průvlaků.....	50
Obrázek 5.21 - Ohybové momenty	53
Obrázek 5.22 - Kroutící momenty.....	53
Obrázek 5.23 - Posouvající síly.....	53
Obrázek 5.24 - Ohybové momenty	54
Obrázek 5.25 - Posouvající síly.....	54
Obrázek 5.26 - Ohybové momenty	55
Obrázek 5.27 - Posouvající síly.....	55
Obrázek 5.28 - Model sloupů a jejich označení	56
Obrázek 5.29 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z	58
Obrázek 5.30 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla	58
Obrázek 5.31 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla	58
Obrázek 5.32 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z	59
Obrázek 5.33 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla	59
Obrázek 5.34 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla	59
Obrázek 5.35 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z	60
Obrázek 5.36 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla	60
Obrázek 5.37 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla	60

Obrázek 5.38 - Normálové síly a příslušné ohybové momenty ve směru osy y a z	61
Obrázek 5.39 - Ohybové momenty ve směru osy y a příslušná normálová síla	61
Obrázek 5.40 - Ohybové momenty ve směru osy z a příslušná normálová síla	61
Obrázek 5.41 - Model jádra a označení stěn	
Obrázek 5.42 - Síť vygenerovaná na jádru.....	62
Obrázek 5.43 - Ohybové momenty ve směru x.....	63
Obrázek 5.44 - Ohybové momenty ve směru y.....	63
Obrázek 5.45 - Normálové síly ve směru x.....	63
Obrázek 5.46 - Normálové síly ve směru y.....	64
Obrázek 5.47 - Model schodiště.....	65
Obrázek 5.48 - Síť generovaná na schodišti.....	65
Obrázek 5.49 - Ohybové momenty ve směru x.....	66
Obrázek 5.50 - Ohybové momenty ve směru y.....	67
Obrázek 6.1 - Interakční diagram.....	108
Obrázek 6.2 - Interakční diagram.....	115
Obrázek 6.3 - Interakční diagram (směr y)	119
Obrázek 6.4 - Interakční diagram (směr z).....	119
Obrázek 6.5 - Interakční diagram (směr y)	122
Obrázek 6.6 - Interakční diagram (směr z).....	122
Obrázek 6.7 - Interakční diagram (směr y)	124
Obrázek 6.8 - Interakční diagram (směr z).....	124
Obrázek 6.9 - Interakční diagram.....	130

10.2 SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1 - Výpočet plošného zatížení na stropní desku D1 a D2 (kanceláře)	20
Tabulka 4.2 - Výpočet plošného zatížení na stropní desku D1 a D2 (chodba, toalety)	21
Tabulka 4.3 - Výpočet plošného zatížení na podestu schodiště	21
Tabulka 4.4 - Výpočet tíhy schodišťového stupně	21
Tabulka 4.5 - Výpočet plošného zatížení na schodišťové rameno	22
Tabulka 4.6 - Výpočet plošného zatížení na střešní desku	22
Tabulka 4.7 - Výpočet plošného zatížení na střešní desku jádra	23
Tabulka 4.8 - Výpočet liniového zatížení od obvodového zdiva	23
Tabulka 4.9 - Výpočet liniového zatížení od vnitřního nenosného zdiva tl. 150 mm	24
Tabulka 4.10 - Výpočet liniového zatížení od vnitřního nenosného zdiva tl. 100 mm	24
Tabulka 4.11 - Výpočet liniového zatížení od atiky	24
Tabulka 4.12 - Výpočet liniového zatížení od atiky jádra	25
Tabulka 4.13 - Výpočet užitého zatížení	26
Tabulka 4.14 - Kategorie terénů a jejich parametry	31
Tabulka 4.15 - Doporučené hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro stěny	32
Tabulka 4.16 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru	33
Tabulka 4.17 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru	34
Tabulka 4.18 - Doporučené hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro střechy	35
Tabulka 4.19 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru	36
Tabulka 4.20 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru	37
Tabulka 4.21 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru	39
Tabulka 4.22 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru	40
Tabulka 4.23 - Výpočet výsledných tlaků příčného větru	41
Tabulka 4.24 - Výpočet výsledných tlaků podélného větru	42
Tabulka 5.1 - Zatěžovací stavy	44
Tabulka 5.2 - Vnitřní síly na deskách	47
Tabulka 5.3 - Vnitřní síly v průvlacích	52
Tabulka 5.4 - Vnitřní síly na sloupech a rozdělení do skupin	57
Tabulka 5.5 - Vnitřní síly ve stěně	63
Tabulka 5.6 - Vnitřní síly ve schodišti	66
Tabulka 6.1 - Návrh a posouzení výztuže	82
Tabulka 6.2 - Minimální plocha výztuže	82

Tabulka 6.3 - Omezení výšky tlačené oblasti	83
Tabulka 6.4 - Vzdálenost výztuže	83
Tabulka 6.5 - Kotevní délka	83
Tabulka 6.6 - Výpočet a posouzení kritického momentu	84
Tabulka 6.7 - Omezení napětí	84
Tabulka 6.8 - Omezení průhybu	84
Tabulka 6.9 - Návrh a posouzení výztuže	96
Tabulka 6.10 - Minimální plocha výztuže	97
Tabulka 6.11 - Omezení výšky tlačené oblasti	97
Tabulka 6.12 - Vzdálenost výztuže	97
Tabulka 6.13 - Kotevní délka	97
Tabulka 6.14 - Návrh a posouzení výztuže	97
Tabulka 6.15 - Konstrukční výztuž	98
Tabulka 6.16 - Minimální stupeň vyztužení	98
Tabulka 6.17 - Max. podélná osová vzdálenost výztuže	98
Tabulka 6.18 - Max. příčná vzdálenost větví třmínku v průřezu	98
Tabulka 6.19 - Výpočet a posouzení kritického momentu	99
Tabulka 6.20 - Omezení napětí	99
Tabulka 6.21 - Omezení průhybů	99
Tabulka 6.22 - Návrh a posouzení výztuže	100
Tabulka 6.23 - Minimální plocha výztuže	101
Tabulka 6.24 - Omezení výšky tlačené oblasti	101
Tabulka 6.25 - Vzdálenost výztuže	101
Tabulka 6.26 - Kotevní délka	101
Tabulka 6.27 - Návrh a posouzení výztuže	101
Tabulka 6.28 - Konstrukční výztuž	102
Tabulka 6.29 - Minimální stupeň vyztužení	102
Tabulka 6.30 - Max. podélná osová vzdálenost výztuže	102
Tabulka 6.31 - Max. příčná vzdálenost větví třmínku v průřezu	102
Tabulka 6.32 - Výpočet a posouzení kritického momentu	103
Tabulka 6.33 - Omezení napětí	103
Tabulka 6.34 - Omezení průhybů	103
Tabulka 6.35 - Návrh výztuže	118
Tabulka 6.36 - Posouzení štíhlosti	118

Tabulka 6.37 - Body v interakčním diagramu.....	119
Tabulka 6.38 - Omezení rozměrů průřezu, průměru výztuže (hl. podélná výztuž)	120
Tabulka 6.39 - Minimální plocha výztuže (hl. podélná výztuž)	120
Tabulka 6.40 - Využití výztuže (hl. podélná výztuž)	120
Tabulka 6.41 - Vzdálenost výztuže (hl. podélná výztuž)	120
Tabulka 6.42 - Kotevní délka (hl. podélná výztuž).....	120
Tabulka 6.43 - Konstrukční zásady pro třmínky	120
Tabulka 6.44 - Posouzení štíhlosti	121
Tabulka 6.45 - Vzdálenost výztuže (hl. podélná výztuž)	122
Tabulka 6.46 - Posouzení štíhlosti	123
Tabulka 6.47 - Vzdálenost výztuže (hl. podélná výztuž)	124